corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 17 - 24 dicembre 1960 - un fascicolo lire 150 **12°** numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano. In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

CIRCUITI con INDUTTANZA-CAPACITA'- RESISTENZA

CIRCUITI a C.A.

Nelle precedenti lezioni abbiamo considerato come femomenti a sè stanti le proprietà fondamentali dei circuiti induttivi, capacitivi e resistivi, ed abbiamo stabilito quanto segue:

1) La caduta di tensione ai capi di una resistenza è in fase con la corrente.

2) La caduta di tensione ai capi di una induttanza *è in anticipo* di 90° rispetto alla corrente.

3) La caduta di tensione ai capi di un condensatore *è in ritardo* di 90° rispetto alla corrente.

Queste tre relazioni sono rese evidenti dal grafico vettoriale della **figura 1.** In esso, i vettori indicano l'angolo di fase con la loro direzione, mentre la loro lunghezza dipende dai valori scelti per un dato circuito. Così se I è il valore efficace della corrente sia in L che in C che in R, l'ampiezza delle rispettive cadute di tensione è data da:

$$E_R=IR \quad E_L=IX_L=I\,(2\pi fL) \quad E_C=IX_C=I\,(1:2\pi fC)$$

La corrente alternata che percorre un circuito varia tuttavia nel tempo. Anche la caduta di tensione ai capi dei diversi elementi varia nel tempo, ma la medesima variazione non è sempre presente in ciascuno di essi nel medesimo tempo. Per questo motivo la seconda legge di Kirchhoff (allorchè viene applicata ai circuiti a c.a.) deve essere intesa nel senso che, *in ogni istante*, la somma delle cadute di tensione presenti in un circuito chiuso è eguale alla somma degli aumenti di tensione, ossia alla tensione totale applicata.

Nella **figura 2** è illustrato un circuito in serie L-C-R. I simboli e, e_R, e_L ed e_C rappresentano i valori *istantanei* della tensione. Si ha quindi:

$$e=e_R+e_L+e_C$$

Questa relazione è vera in ogni istante dei periodi della corrente alternata.

Una tensione istantanea non può però essere determinata mediante la legge di Ohm, la quale è valida unicamente per le tensioni massime, efficaci o medie, come vedremo a suo tempo. Tuttavia è possibile determinare perfettamente una quantità di c.a. allorchè sono noti i suoi valori *efficaci* e di fase rispetto ad alcuni valori standard. Pertanto — come abbiamo già visto a suo tempo — il metodo dell'analisi vettoriale nella quale la fase viene rappresentata sotto forma di direzione, e l'ampiezza come valore efficace, può essere usato per sommare algebricamente sia tensioni che correnti sinusoidali.

Supponiamo, ad esempio, che un generatore a c.a. producente una tensione di 100 volt, con una frequenza di 60 Hertz sia collegato ad un circuito avente una resistenza di 6 ohm in serie ad una reattanza induttiva di 8 ohm, come è illustrato alla figura **3-A.** Come abbiamo dimostrato precedentemente, a proposito dei circuiti L-R, la somma vettoriale delle cadute di tensione ai capi della resistenza e della induttanza deve essere eguale alla tensione applicata. Dal momento che E_R è in fase con I, mentre E_L è in anticipo di 90° rispetto ad I, la loro somma vettoriale, pari a 100 volt, è l'ipotenusa del triangolo rettangolo (figura **3-B**).

Si ha quindi, per il teorema di Pitagora:

$$E^2=E_R^2+E_L^2$$

Sostituendo in detta equazione i valori equivalenti:

$$(100)^2=(IR)^2+(IX_L)^2 \quad \text{ossia} \quad (100)^2=36\,I^2+64\,I^2$$

$$(100)^2=100\,I^2 \quad \text{da cui} \quad I^2=100 \quad \text{e quindi} \quad I=10$$

E_R, vale a dire la caduta di tensione ai capi della resistenza, è data dal prodotto IR, che è 10 volte 6=60 volt. E_L, caduta di tensione ai capi della induttanza, è data dal prodotto IX_L, corrispondente a 10 volte 8=80 volt. La tangente dell'angolo di fase θ corrisponde a $E_L:E_R$, ossia $X_L:R=8:6=1{,}33$.

Dalla tabella delle funzioni trigonometriche corrispondenti alle frazioni decimali di un grado, riportata alla lezione 24ª, rileviamo che la tangente dell'angolo di fase $\theta=1{,}33$ corrisponde a 53°,1', per cui in quel circuito, tale è il ritardo della corrente rispetto alla tensione. Il risultato è rappresentato graficamente dalla **figura 3-C.**

In maniera analoga è possibile determinare la corrente, la tensione e l'angolo di fase di un circuito in serie del tipo R-C. La **figura 4-A** illustra un circuito costituito da una resistenza di 3 ohm e da una reattanza capacitiva di 4 ohm in serie ad una sorgente di energia che eroga una tensione di 300 volt a 50 Hertz. Come nel caso precedente, la somma vettoriale delle cadute di tensioni presenti ai capi della resistenza e della capacità equivale alla tensione totale. Dal momento che E_R è in fase con I, mentre E_C è in ritardo di 90° su I, la loro somma vettoriale, pari a 300 volt, corrisponde alla ipotenusa del triangolo rettangolo (**figura 4-B**).

Si ha quindi:

$$E^2=E_R^2+E_C^2$$

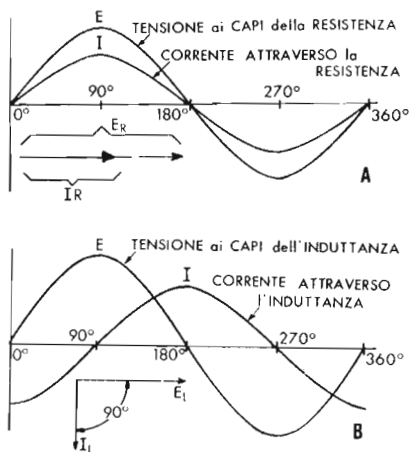



Fig. 1 — Viene illustrato con curve e rappresentazione vettoriale: in A, l'andamento tra la caduta di tensione e la corrente ai capi di una resistenza (in fase); in B ai capi di una induttanza (anticipo 90°); in C, ai capi di un condensatore (ritardo 90°).

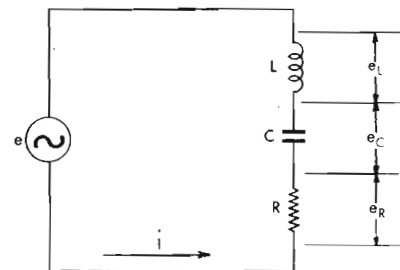



Fig. 2 — Circuito con L-C-R in serie. I simboli rappresentano valori istantanei (per cui $e = e_R + e_L + e_C$) che non consentono l'applicazione della legge di Ohm.

nella quale, sostituendo i valori corrispondenti, si ottiene:

$$(300)^2 = (3 \times I)^2 + (4 \times I)^2 = 25\, I^2$$

Estraendo la radice quadrata di entrambi i membri dell'equazione, si ha $300 = 5\,I$, da cui $I = 300:5 = 60$ ampère.

E_R, ossia la caduta di tensione ai capi della resistenza, equivale al prodotto IR, ossia a 60 volte $3 = 180$ volt. E_C, ossia la caduta di tensione presente ai capi del condensatore, equivale a IX_C, ossia 60 volte $4 = 240$ volt. La tangente dell'angolo di fase θ è $E_C : E_R = X_C : R = 4:3 = 1{,}33$. Dalla tabella già citata (lezione 24ª), rileviamo nuovamente che tale valore corrisponde a 53,1°. La corrente in questo circuito è in anticipo rispetto alla tensione applicata di 53,1°; il grafico della figura 4-**C** illustra tale risultato.

CIRCUITO in SERIE L-C-R

Quando i tre elementi basilari di un circuito, ossia la resistenza, l'induttanza e la capacità, si trovano riuniti in un unico circuito, le cadute di tensione, la corrente e gli angoli di fase possono essere determinati combinando tra loro i metodi sopra descritti. La **figura 5-A** rappresenta un circuito in serie *L-C-R* contenente una resistenza ohmica di 6 ohm, una reattanza induttiva di 8 ohm, ed una reattanza capacitiva di 16 ohm, collegate ai capi di una sorgente di tensione che eroga 300 volt c.a. a 50 Hertz.

Le sezioni **B** e **C** della figura sono rispettivamente le rappresentazioni grafiche e vettoriale di tale circuito. Poichè la corrente di un circuito in serie è eguale in tutti i suoi punti, I costituisce il vettore di riferimento. Quindi E_R è in fase con I, E_L è in anticipo su I di 90°, ed E_C ritarda, sempre rispetto ad I, di 90°. E_C ed E_L sono perciò sfasate di 180° tra loro e la loro somma vettoriale è semplicemente la loro differenza.

Così, dal momento che E_C è maggiore di E_L, la tensione reattiva risultante è $E_C - E_L$, ossia:

$$16\,I - 8\,I = 8\,I$$

La tensione reattiva risultante è in ritardo rispetto ad I di 90° poichè ha la medesima direzione di E_C, ossia del vettore maggiore.

La sezione **D** della figura è il diagramma vettoriale che ne deriva. Dalla figura apprendiamo che:

$$E^2 = (IR)^2 + (IX)^2$$

Sostituendo i valori alle lettere, otteniamo:

$$(300)^2 = 36\, I^2 + 64\, I^2 = 100\, I^2$$

dalla quale, estraendo la radice quadrata si ha:

$$300 = 10 \times I, \quad \text{ossia} \quad I = 300:10 = 10 \text{ ampère.}$$

La caduta di tensione ai capi della resistenza, E_R, corrisponde a IR, ossia 30 volte $6 = 180$ volt. La caduta di tensione ai capi dell'induttanza è $E_L = I\,X_L = 30$ volte $8 = 240$ volt, ed infine, la caduta di tensione ai capi del condensatore è $E_C = I\,X_C = 30$ volte 16, ossia 480 volt.

Dal momento che la maggior reattanza capacitiva esclude completamente la reattanza induttiva, il circuito è capacitivo, per cui la corrente è in anticipo rispetto alla tensione, di un ammontare pari all'angolo di fase θ. La tangente di θ è data da:

$$\frac{X_C - X_L}{R} = 8:6 = 1{,}33,$$

ossia, come dalla citata tabella, l'angolo è eguale a 53°,1'.

Il circuito in serie *L-C-R* mette in rilievo i seguenti importanti punti:

1) La corrente che percorre un circuito *L-C-R* può essere in ritardo o in anticipo rispetto alla tensione, rispettivamente se è maggiore X_L o X_C.

2) Una caduta di tensione capacitiva in un circuito in serie si sottrae sempre direttamente dalla caduta di tensione induttiva.

3) La caduta di tensione presente ai capi di un elemento avente una reattanza, può avere un valore efficace maggiore di quello della tensione applicata.

Come è detto in quest'ultimo punto ed illustrato nel circuito della figura 5, E_C ha un valore efficace di 480 volt, nonostante la tensione applicata sia di 300 volt. Ciò non può assolutamente accadere in un circuito funzionante con c.c. in quanto le cadute di tensione si sommano aritmeticamente, per cui ogni singola caduta di tensione presente ai capi di uno dei componenti è sempre inferiore alla tensione totale. Il fatto che invece con la c.a. possa verificarsi il contrario è già stato spiegato sopra quando si disse che la legge di Kirchhoff può essere applicata soltanto a valori *istantanei* della tensione presente.

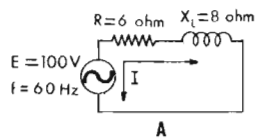



Fig. 3 — Circuito con R ed L e relativa rappresentazione vettoriale e sinusoidale degli sfasamenti tra corrente e tensione.

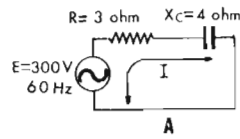
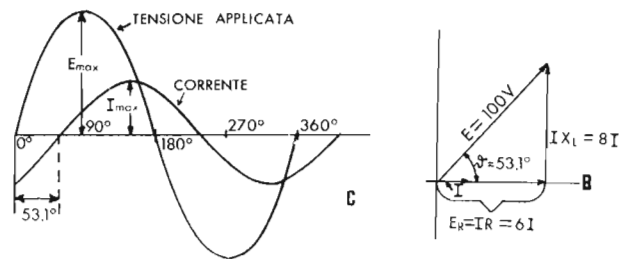
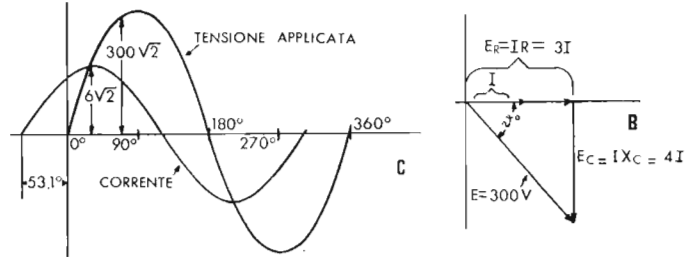



Fig. 4 — Circuito con R e C e relativa rappresentazione vettoriale e sinusoidale degli sfasamenti tra corrente e tensione.

ANALISI dei CIRCUITI L-C-R

Le varie relazioni sopra esposte possono ora essere generalizzate, ed è possibile calcolare la corrente, l'impedenza, le cadute di tensione e gli angoli di fase in qualsiasi circuito in serie del tipo *L-C-R*. La **figura 6-A** illustra un circuito in serie contenente una induttanza *L*, una capacità *C* ed una resistenza *R*. Il circuito è collegato ai capi di una sorgente che eroga una tensione di ampiezza *E* e di frequenza *f*. La sezione **B** della figura illustra l'impostazione del diagramma vettoriale.

La caduta di tensione, *IR*, presente ai capi della resistenza è espressa in fase con la corrente, *I*. La caduta di tensione presente ai capi dell'induttanza è rappresentata al di sopra dell'asse zero; quella presente ai capi della capacità si trova al di sotto. La sezione **C** della fifura' illustra i vettori risultanti; ed il triangolo della tensione (avente E_R come base ed $E_L - E_C$ come altezza), è riportato nella sezione **D** della figura.

La tensione risultante, *E* — pari alla tensione totale applicata — è l'ipotenusa, per cui si ha che:

$$E^2 = I^2 R^2 + I^2 (X_L - X_C)^2 \quad \text{ossia} \quad E^2 = I^2 [R^2 + (X_L - X_C)^2]$$

la cui radice quadrata è:

$$E = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{da cui} \quad I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Inoltre, dal momento che in un circuito a c.a. *I* è eguale a *E*:*Z*, si ha che *Z*, ossia l'impedenza totale del circuito *L-C-R*, corrisponde alla radice quadrata del quadrato della resistenza, più il quadrato della differenza delle reattanze, ossia: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

Dal triangolo della tensione apprendiamo che la corrente è in ritardo rispetto alla tensione dell'angolo θ, per cui, come abbiamo visto, si ha che:

$$\tan \theta = \frac{E_L - E_C}{E_R}$$

da cui, mediante la sostituzione e l'elisione:

$$\tan \theta = \frac{X_L - X_C}{R}$$

In modo analogo, in coseno di θ è eguale a $E_R : E$, ossia

$$\text{Cos. } \theta = \frac{R}{Z}, \text{ e quindi } Z = \frac{R}{\cos \theta}.$$

Questi risultati possono essere trascritti sotto un'altra forma. Poichè:

$$X_L = 2\pi f L \quad \text{ed} \quad X_C = 1 : 2\pi f C,$$

si ha che:

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C})^2}$$

In tutti i calcoli precedenti, i valori di *E* e di *I* rappresentano i valori efficaci di tensione e di corrente.

Dalle formule generali sopraenunciate si può vedere che, se la reattanza induttiva X_L è maggiore della reattanza capacitiva X_C, la caduta di tensione induttiva è maggiore di quella capacitiva, e la somma algebrica è una caduta di tensione induttiva; vale a dire la tensione è in anticipo di 90° rispetto alla corrente. Se la reattanza capacitiva è maggiore di quella induttiva avviene il contrario, ossia la somma algebrica è capacitiva; da ciò deriva che la corrente è in anticipo di 90° rispetto alla tensione. Per ultimo, se la reattanza induttiva equivale a quella capacitiva, la somma algebrica è zero, e si verifica un fenomeno interessante detto **risonanza**. In questo caso le cadute di tensione induttiva e capacitiva sono di eguale ampiezza e reciprocamente sfasate di 180°; conseguentemente la loro somma vettoriale è zero. In pratica, ciò significa che in ogni istante la caduta della tensione e_C presente ai capi della capacità, sommata alla caduta presente ai capi dell'induttanza dà per risultato zero, il che espresso come equazione è:

$$e_C + e_L = 0 \quad \text{ossia} \quad e_C = - e_L$$

Questi risultati sono espressi graficamente alla **figura 7-A**. Si dice che un circuito in serie *L-C-R* è risonante quando $X_L = X_C$. Inoltre, dal momento che non esiste alcuna tensione reattiva, l'impedenza del circuito equivale alla resistenza alla c.c. del circuito stesso, e la corrente è limitata soltanto da quest'ultima. L'angolo di fase θ ha una tangente pari a zero, ed un coseno pari a 1, per cui θ = 0°, il che significa che la corrente che scorre nel circuito è in fase con la tensione applicata. La figura 7-**B** illustra l'espressione vettoriale di quanto abbiamo affermato.

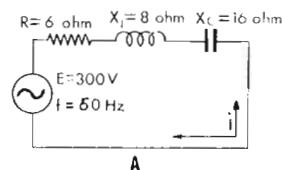



Fig. 5 — Circuito con L-C-R e rappresentazione vettoriale e sinusoidale degli sfasamenti reciproci.

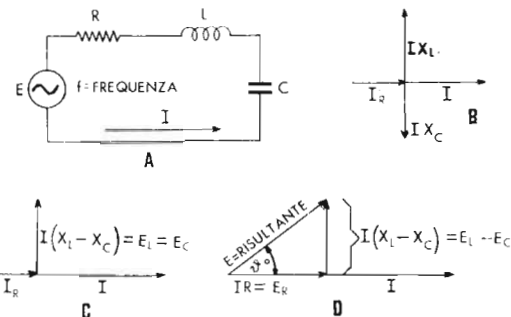
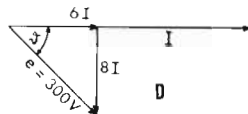
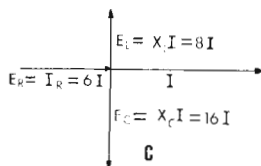
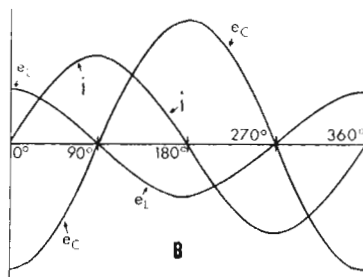



Fig. 6 — Circuito con L-C-R. In B è l'impostazione sotto forma vettoriale; in C si hanno i vettori risultanti; in D è riportato il triangolo della tensione risultante.

È importante notare tuttavia che, sebbene la somma vettoriale delle tensioni reattive sia zero, la tensione presente ai capi di ogni singolo elemento sarà notevolmente alta, in quanto la caduta di tensione presente ai capi di ognuno di essi è determinata dalla relativa reattanza e dalla corrente che lo percorre. La corrente che passa in un circuito risonante è massima in quanto è limitata soltanto dal fattore R, per cui le cadute di tensione presenti ai capi degli elementi reattivi hanno anch'esse il valore massimo, e possono essere molto superiori alla tensione applicata.

Un circuito in serie del tipo L-C-R può, nei confronti della sorgente di alimentazione alla quale è collegato, comportarsi come uno dei seguenti tipi:

1) Un circuito RL ($X_L > X_C$); la reattanza induttiva è maggiore di quella capacitiva.
2) Un circuito RC ($X_C > X_L$); la reattanza capacitiva è maggiore di quella induttiva.
3) Un circuito R ($X_L = X_C$); le due reattanze sono eguali.

La frequenza di risonanza di un circuito L-C-R può essere determinata in base alle reattanze individuali, in quanto entrambe dipendono dalla frequenza. Sappiamo che la reattanza induttiva è pari a $2\pi fL$, mentre quella capacitiva è pari a $1 : 2\pi fC$. Ne consegue che, dal momento che alla frequenza di risonanza $X_L = X_C$, si ha:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

da cui, risolvendo rispetto a f:

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad \text{ossia} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Questa è la frequenza alla quale si verifica la risonanza di un circuito in serie del tipo L-C-R. Dalla formula si può vedere che, indipendentemente dai valori di L e di C, il circuito avrà sempre *una sua frequenza* di risonanza. Così si può dedurre che se la sorgente di frequenza è fissa, è possibile fare in modo che il circuito risuoni a quel dato valore corrispondente.

CIRCUITI L-C in PARALLELO

Nello studio della teoria relativa alla induttanza ed alla capacità, abbiamo visto che i circuiti in parallelo del tipo L-R e C-R differiscono dai rispettivi circuiti in serie in quanto la tensione applicata è sempre la medesima; le correnti sono reciprocamente sfasate di 90°, e la corrente di linea risultante è in ritardo (L-R) o in anticipo (C-R) rispetto alla tensione, di un angolo inferiore a 90°. Inoltre, abbiamo visto che la corrente di linea è maggiore di quella che scorre in ognuno dei rami paralleli, e che di conseguenza l'impedenza totale è inferiore a quelle individuali dei singoli componenti.

A differenza di quanto avviene in un circuito reattivo in serie, un aumento della resistenza di un circuito in parallelo diminuisce la corrente nel ramo corrispondente, ed aumenta la efficacia dell'induttanza o della capacità, il che rende il circuito maggiormente reattivo man mano che l'angolo di sfasamento θ si avvicina ai 90°.

La condizione limite in questo caso sarebbe costituita da una resistenza di valore ohmico infinito; il ramo corrispondente potrebbe essere considerato allora praticamente aperto e la corrente e la tensione presenti ai capi dell'elemento reattivo risulterebbero sfasate di 90°.

La diminuzione del valore resistivo in un circuito in parallelo provoca invece un aumento di corrente nel ramo corrispondente, e diminuisce il rendimento effettivo della capacità o dell'induttanza, il che rende il circuito stesso sempre più resistivo, man mano che θ si approssima a zero. In questo caso la condizione limite sarebbe costituita da una resistenza di valore ohmico pari a zero, tale cioè da cortocircuitare addirittura l'elemento reattivo, e la tensione e la corrente risulterebbero in fase.

Se uniamo i circuiti in parallelo L-R e C-R in un unico circuito L-C-R, si verificano tra detti elementi nuove relazioni, complicate dallo speciale comportamento di L e di C alla frequenza di risonanza. Pertanto, ignorando per il momento l'effetto della resistenza nel circuito stesso, possiamo considerare esclusivamente le caratteristiche del circuito L-C. La **figura 8-A** illustra lo schema elementare di un circuito di tale tipo: in esso è presente una reattanza induttiva di 100 ohm, una reattanza capacitiva di 50 ohm e, ai capi delle stesse, è applicata una tensione di 300 volt. La rappresentazione grafica delle correnti è data dalla figura 8-**B**. Si noterà che dal momento che la tensione applicata è sempre la medesima, essa può essere utilizzata come valore di riferimento. La corrente che percorre l'induttanza è perciò rappresentata in ritardo di 90° rispetto alla tensione, e quella

$X_L I = E_L$

$IR = E$ I

$X_C I = E_C$

CIRCUITO R-L-C B

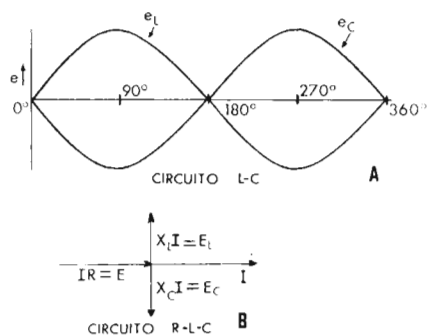



Fig. 7 — Caso classico di eguaglianza tra reattanza induttiva e reattanza capacitiva (risonanza): la somma vettoriale è zero. In B espressione vettoriale relativa, prendendo in considerazione anche R.

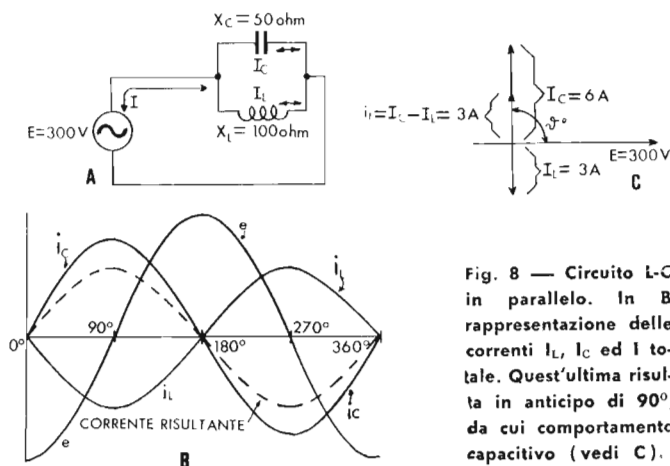



Fig. 8 — Circuito L-C in parallelo. In B rappresentazione delle correnti I_L, I_C ed I totale. Quest'ultima risulta in anticipo di 90°, da cui comportamento capacitivo (vedi C).

che percorre il condensatore è rappresentata invece in anticipo di 90°; ne consegue che le due correnti sono reciprocamente sfasate di 180°.

La corrente che percorre l'induttanza è data da $I_L = E : X_L = 300 : 100 = 3$ ampère, e quella che percorre il condensatore è data da $I_C = E : X_C = 300 : 50 = 6$ ampère.

Dal momento che dette correnti sono sfasate di 180° esse possono essere sommate algebricamente al fine di ottenere il valore effettivo della corrente di linea, ossia $I_T = I_C - I_L = 3$ ampère.

La corrente totale ammonta dunque a 3 ampère, ed è rappresentata dalla linea tratteggiata nella sezione B della figura. Essa è in *anticipo* di 90° rispetto alla tensione applicata, per cui il circuito si comporta nei confronti della sorgente di tensione come un circuito capacitivo in quanto l'effetto della reattanza induttiva è completamente annullato dalla maggiore reattanza capacitiva; ciò è illustrato dal diagramma vettoriale della figura 8-**C**.

L'impedenza totale di questo tipo di circuito in parallelo è di particolare interesse. Infatti, in tutte le analisi precedenti, si è constatato che l'impedenza totale di qualsiasi circuito in parallelo — sia agli effetti della c.c. che della c.a. — è sempre inferiore a quella di ogni singolo componente. Ma, nel nostro caso, si ha che $Z_T = E_T : I_T = 300 : 3 = 100$ ohm. Un valore di impedenza totale di 100 ohm per questo circuito è superiore ad X_C (50 ohm), e, in questo caso, pari ad X_L (100 ohm).

Tale risultato avrebbe potuto essere raggiunto anche mediante la formula nota per determinare l'impedenza di un circuito in parallelo, ossia:

$$Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_L + X_C}$$

nella quale, sostituendo i valori, avremmo avuto:

$$Z_T = \frac{100 \times (-50)}{100 + (-50)}$$

Dal momento però che X_L ed X_C sono anche reciprocamente sfasate di 180°, i loro valori possono essere sommati algebricamente. Il segno — (meno) sta ad indicare la reattanza capacitiva, convenzionalmente considerata di segno contrario alla reattanza induttiva. Pertanto $Z_T = -100$ ohm.

Dalla formula $Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_L + X_C}$ è interessante ed importante constatare che, alla frequenza di risonanza, (quella cioè per la quale $X_L = X_C$), il denominatore della frazione è eguale a zero, per cui l'impedenza totale assume un valore tendente all'infinito.

Naturalmente, tanto L quanto C non possono mai offrire, in pratica, una pura reattanza al circuito, per cui si può dire che, alla frequenza di risonanza, un circuito del tipo L-C in parallelo offre *la massima impedenza* nei confronti della tensione applicata, mentre la corrente di linea assume un valore *minimo*. Al di quà e al di là di tale frequenza, l'impedenza totale diminuisce rapidamente dal suo massimo mentre la corrente aumenta con la medesima rapidità.

Un ulteriore esame della formula rivela che, nel punto in cui una delle reattanze è il doppio dell'altra (vedere l'esempio di cui sopra), l'impedenza totale del circuito equivale a quella delle due che ha il valore più alto. Man mano che aumenta la differenza tra i due valori, l'impedenza totale tende a raggiungere un valore compreso tra X_L ed X_C, sempre maggiore del più piccolo e minore del più grande.

CIRCUITI in PARALLELO L-C-R

Ora ci è possibile vedere il circuito in parallelo L-C-R come un circuito in parallelo essenzialmente L-C (soggetto alla reciproca azione di L e di C) al quale sia stato aggiunto un valore di R, ossia di resistenza ohmica pura.

La **figura 9-A** illustra un esempio. In corrispondenza di qualsiasi punto di non risonanza (cioè X_L e X_C con valori diversi), le correnti presenti in L ed in C saranno diverse e sfasate di 180°. La corrente totale, come abbiamo già visto, sarà perciò prevalentemente induttiva o capacitiva a seconda di quale dei due componenti si oppone meno alla tensione applicata.

Nei confronti del generatore, il circuito risulterà perciò o una induttanza o una capacità collegata in parallelo ad una resistenza, (R). La corrente di linea risultante sarà quindi la somma vettoriale della corrente reattiva e di quella resistiva, come se il circuito comprendesse una singola reattanza ed una resistenza.

Ad esempio, il circuito A della figura 9 illustra il caso

Fig. 9 — Circuito L-C in parallelo, con presa in considerazione di R. In B andamento delle correnti ed in C rappresentazioni vettoriali.

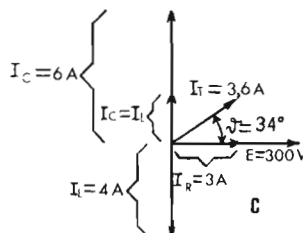
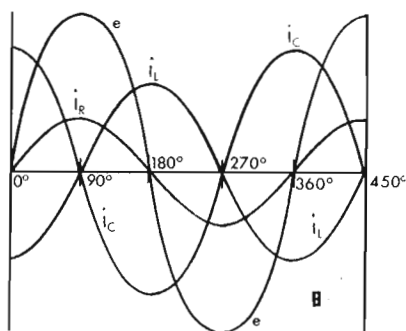
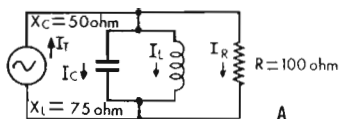



Fig. 10 — Con un carico passivo e corr. continua, la potenza è eguale a $I^2 \times R$.

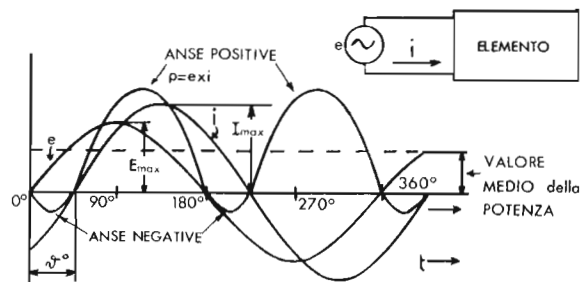
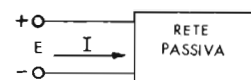



Fig. 11 — Corrente, tensione e potenza istantanea in un circuito con sfasamento zero.

di una tensione di ingresso di 300 volt, di una reattanza induttiva di 75 ohm, di una reattanza capacitiva di 50 ohm, e di una resistenza di 100 ohm. La figura 9-**B** illustra graficamente le correnti del circuito. Non è difficile notare che le correnti reattive sono reciprocamente sfasate di 180° e che tale sfasamento ammonta a 90° nei confronti della corrente resistiva, la quale è in fase con la tensione applicata. Perciò si ha che $I_L = 300:75 = 4$ ampère; $I_C = 300:50 = 6$ ampère ed $I_R = 300:100 = 3$ ampère.

La corrente totale reattiva, I_X, corrisponde quindi a 2 A (ossia $I_C - I_L$). Come risulta dalla figura 9-**C**, la corrente totale di linea è pari alla somma vettoriale della corrente reattiva (capacitiva) e di quella resistiva, ossia:

$$I_T = \sqrt{I_X^2 + I_R^2} = \sqrt{13} = 3{,}6 \text{ ampère}$$

Dal che si deduce che l'impedenza totale del circuito (Z_T) è pari a $E : I_T = 300 : 3{,}6 = 83$ ohm.

Il coseno dell'angolo di fase θ che rappresenta il ritardo della corrente di linea rispetto alla tensione applicata è pari a $Z:R = 83:100 = 0{,}83$, per cui, dalle tabelle, si ricava che lo sfasamento totale ammonta a 34°.

Nel punto di risonanza, le due correnti reattive si annullano a vicenda, lasciando la corrente di linea costituita dalla sola corrente resistiva; perciò si ha:

$$I_C - I_L = 0;\ I_T = I_R;\ I_T = E:R;\ Z_T = R;$$

$$\text{Cos } \theta = Z:R = 1 \quad \text{ed infine} \quad \theta = 0°$$

La corrente e la tensione di linea sono effettivamente in fase ai capi della resistenza. Nuovamente si deve notare che una resistenza collegata in parallelo ad un circuito *L-C* tende ad annullare l'effetto della componente reattiva, come si è visto sopra a proposito dei circuiti in parallelo *L-R* e *C-R*. Alla frequenza di risonanza, l'impedenza totale del circuito è pari al valore ohmico, per cui vengono annullate le caratteristiche essenziali del circuito risonante in parallelo, che si risolvono nella massima impedenza opposta alla tensione e quindi alla corrente di linea.

La POTENZA nei CIRCUITI a C.A.

Nell'analisi dei circuiti a c.c. l'ammontare della potenza assorbita da una resistenza, ovvero dalla resistenza di un circuito, può essere facilmente determinata mediante la legge di Joule, secondo la quale $P = I^2R$, in cui P = potenza assorbita in watt, I = corrente totale in ampère ed R = resistenza totale in ohm. Dal momento che la caduta di tensione presente ai capi di una resistenza R è pari ad IR, la formula suddetta può essere trascritta come segue: $P = IR \times I = I^2R$.

Questa espressione per determinare la potenza nei circuiti a c.c. è di uso generale, e può essere applicata a qualsiasi circuito passivo (ossia che non contiene sorgenti interne di energia). Un esempio è illustrato alla **figura 10**. La potenza assorbita è eguale al prodotto tra la tensione applicata e la corrente di linea, ossia $P = EI$.

Nei confronti invece dei circuiti a c.a., la determinazione della potenza assorbita implica un processo di calcolo più complesso. Poichè tanto la tensione quanto la corrente variano continuamente, il prodotto e per i (tensione e corrente istantanea) è anche una funzione del tempo, e definisce la potenza istantanea p. Tuttavia, in generale, tali due quantità sono sfasate di un certo angolo θ, come abbiamo già visto; la **figura 11** è quella di un grafico che rappresenta la corrente, la tensione, e la potenza istantanee in un circuito avente un angolo di sfasamento pari a 0°. Tale grafico rivela diverse importanti caratteristiche della potenza istantanea:

1) Il grafico della potenza varia con una frequenza doppia di quella della tensione, ossia compie due cicli interi durante un solo ciclo di tensione e di corrente.

2) La curva della potenza ha alternanze positive e negative. Perciò, durante una parte del periodo, p è negativa, il che va inteso nel senso che l'energia viene restituita al generatore in tale frazione di tempo. Tale caratteristica è di notevole importanza in quanto dimostra che, in un circuito a c.a. l'energia passa dalla sorgente al circuito durante una parte del ciclo, e viceversa, per cui, se la potenza resa è pari a quella assorbita, il consumo è zero.

L'area che si trova al di sotto delle anse positive della curva della potenza, rappresenta l'energia fornita al carico, e quella sottostante alle anse negative rappresenta l'energia resa da questo alla sorgente. In considerazione di ciò, è possibile enunciare le seguenti caratteristiche generali:

1) Se in un ciclo (360°) l'area sottostante alle anse positive della curva di p è maggiore di quella sottostante alle anse negative, l'energia fornita dal generatore al carico è positiva, ossia si ha un consumo di energia.

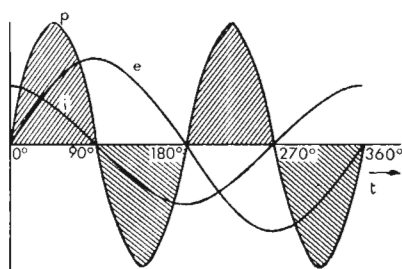



Fig. 12A — Andamento della tensione, della corrente e della potenza in un circuito a c.a. capacitivo.

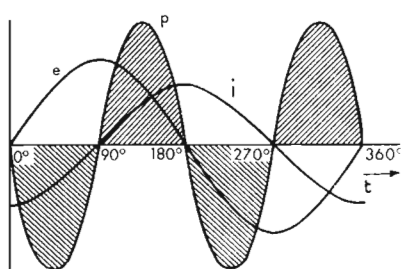



Fig. 12B — Andamento della tensione, della corrente e della potenza in un circuito a c.a. induttivo.

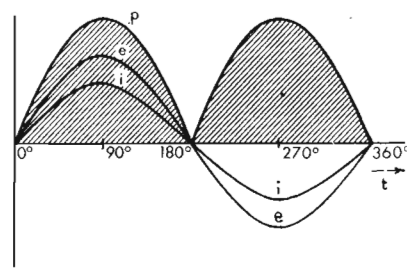



Fig. 12C — Andamento della tensione, della corrente e della potenza in un circuito a c.a. resistivo.

2) Se dette due aree sono eguali, l'energia consumata è zero.

3) Se si ha il caso opposto a quello del N. 1, l'energia viene praticamente erogata dal carico e consumata o assorbita dalla sorgente.

Da ciò possiamo dedurre che:

1) Se l'energia trasmessa dal generatore al carico è positiva, il circuito ha una componente resistiva, in quanto in essa l'energia viene dissipata sotto forma di calore, e non può quindi essere restituita alla sorgente.

2) Se detta energia ammonta a zero, ciò significa che il circuito contiene elementi reattivi puri nei quali non viene dissipata alcuna potenza.

3) Se l'energia viene trasmessa dal carico al generatore, il circuito contiene un suo proprio generatore, il quale eroga una potenza superiore a quella disponibile ai capi della sorgente, per cui questa ne assorbe.

La **figura 12** illustra quanto detto sopra mediante i grafici separati della tensione, della corrente e della potenza per i tre tipi di circuiti a c.a., ossia capacitivo, induttivo e resistivo. In **A** ed in **B** l'area sottostante alle anse positive è eguale a quella sottostante alle anse negative. Il condensatore presente nello schema della sezione A si carica durante il primo quarto di periodo e si scarica nel generatore nel quarto successivo; ciò si ripete durante ogni semiperiodo della tensione erogata dal generatore. La sezione B illustra la medesima azione per una induttanza pura, mentre la sezione **C** dimostra che, nel caso della resistenza pura, le anse della potenza sono sempre positive, ossia la resistenza assorbe l'energia completamente, senza mai restituirne al generatore.

Il comportamento dei componenti reattivi nel circuito di cui sopra non deve sorprendere in quanto — come abbiamo fatto rilevare precedentemente — sia la capacità che l'induttanza sono in grado di immagazzinare energia senza perdite. Ad esempio, l'energia impiegata per caricare un condensatore può essere interamente ricuperata facendo in modo che esso si scarichi attraverso una resistenza; l'energia elettrostatica di un condensatore viene così convertita in energia calorifica. Così, l'energia spesa per sviluppare un campo magnetico intorno ad una bobina può essere a sua volta ricuperata permettendo alla corrente indotta nella stessa, al successivo collasso di detto campo magnetico, di scaricarsi attraverso una resistenza. La **figura 13** illustra come si può ottenere la scarica di un elemento reattivo. In **A** il condensatore *C* è inizialmente carico; allorchè l'interruttore viene chiuso, si scarica attraverso la resistenza *R*. In **B**, la corrente iniziale che scorre in *L* vi accumula dell'energia creando intorno ad essa un campo magnetico; non appena l'interruttore viene chiuso, l'energia accumulata nel campo induce una tensione nell'induttanza e, di conseguenza, provoca una corrente attraverso *L* la quale si dissipa in *R* sotto forma di calore.

La resistenza limitatrice *Ro* è inserita nel circuito allo scopo di evitare che la batteria venga cortocircuitata quando l'interruttore è chiuso.

Potenza media

Dalle analisi fatte fino ad ora sulla potenza istantanea, si può dedurre che, in ogni circuito a c.a. contenente elementi reattivi, l'unica potenza effettivamente dissipata è quella assorbita dalla resistenza del circuito. Un circuito reattivo tuttavia, *sembra* consumare una grande quantità di potenza, come si può immaginare dalla superficie delle anse positive della figura 12. È quindi importante osservare che, sebbene il generatore riceva in restituzione una parte di energia *dal* carico, esso deve, tuttavia, fornirgliene in grande quantità. Questa potenza che il generatore deve fornire (indipendentemente dalla restituzione) *è detta potenza apparente*; come in ogni circuito a c.a. è data dal prodotto dei valori efficaci di tensione e di corrente. Si ha quindi:

$$P \text{ (potenza apparente)} = EI$$

oppure, sostituendo $\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}$ ad E, ed $\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$ ad I, si ha

$$P \text{ (potenza apparente)} = \frac{E_{max} I_{max}}{2}$$

La potenza apparente si distingue dalla potenza effettiva consumata dal carico, che prende nome di *potenza media* o « reale » e corrisponde alla energia assorbita dalla resistenza del circuito. Essa viene inoltre definita come la potenza assorbita da un circuito in un ciclo della tensione di alimentazione. Un esame del grafico della potenza rivela che tale concetto può essere espresso mediante la formula:

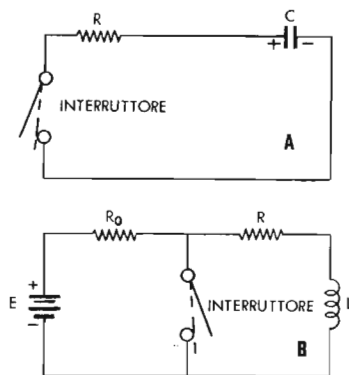



Fig. 13 — Gli elementi reattivi (C ed L) accumulano energia che restituiscono ad R.

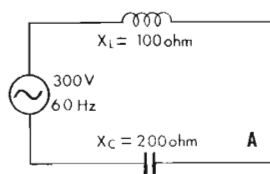



Fig. 14A — In questo circuito (con X_C ed X_L) la potenza apparente risulta di 900 watt e quella media di 0 watt. I 900 watt del generatore sono perciò integralmente resi.

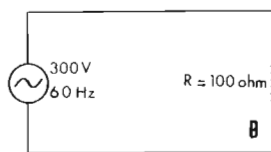



Fig. 14B — In questo circuito (sola R) la potenza apparente è di 900 watt e quella media è pure di 900 watt. La potenza del generatore è integralmente assorbita.

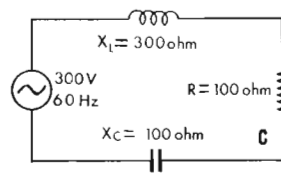



Fig. 14C — In questo circuito (con X_C, X_L ed R) la potenza apparente è di 401 watt e quella media di 179 watt. Gli elementi reattivi restituiscono pertanto 222 watt.

$$P \text{ (potenza media)} = \frac{\text{(area anse posit.)} - \text{(area anse negat.)}}{\text{lunghezza di un ciclo in radianti}}$$

Tuttavia, la differenza tra dette aree corrisponde alla differenza tra la potenza fornita al carico e la potenza da questo restituita, ossia alla potenza assorbita dalla resistenza del circuito. Questo è il motivo per il quale la legge di Joule esprime la potenza effettiva consumata in qualsiasi circuito, sia a c.c. che a c.a.

Così, come abbiamo detto, P (potenza media) $= I^2R$.

In un circuito reattivo però la corrente presente nel circuito equivalente a $E:Z$, per cui:

$$P = \frac{E}{Z} \times I \times R$$ e, trascrivendo in altro modo:

$$P = EI \times \frac{R}{Z}$$

Il rapporto $R:Z$ è, come risulta dall'analisi dei circuiti L-C-R, il coseno dell'angolo di fase θ, ossia dell'angolo presente tra la corrente e la tensione. Pertanto, la potenza media è data dal prodotto tra EI ed il coseno di θ, ossia:

$P = EI \cos \theta$, nella quale E = valore efficace della tensione, I = valore efficace della corrente, θ = angolo di fase tra tensione e corrente, e P = potenza media assorbita.

Le seguenti, sono le varie formule derivate per la potenza *apparente*:

$$P=EI; \quad P=I^2Z; \quad P=E^2:Z$$

mentre quelle relative alla potenza *media* sono:

$$P=EI \cos \theta; \quad P=I^2R$$

Un accurato esame della formula relativa alla potenza media, rivela che se l'angolo di fase θ è di 90°, il suo coseno è zero e la potenza effettivamente assorbita è zero. Perciò, un angolo di fase di 90° significa che il circuito è esclusivamente reattivo e restituisce tanta potenza quanta ne riceve. Se detto angolo è di 0°, il coseno è 1, ed il circuito è quindi esclusivamente resistivo, in quanto assorbe tutta la potenza fornita dal generatore.

Il fattore $\cos \theta$ varia quindi da zero a 1 mentre l'angolo di fase varia da 90° a 0°. Negli esempi che seguono, l'influenza dell'angolo di fase sulla potenza è illustrata dai tre circuiti della **figura 14**, a ciascuno dei quali è applicata una tensione alternata di 300 volt, 60 Hertz.

1) Il circuito della sezione **A** comprende una reattanza induttiva di 100 ohm ed una reattanza capacitiva di 200 ohm. Dal momento che tali reattanze sono opposte, la reattanza effettiva risultante ammonta a 100 ohm ed è capacitiva, e la corrente che scorre nel circuito è di 3 ampère. La potenza apparente è pari a:

$$P=EI=300 \times 3=900 \text{ watt}$$

L'angolo di fase di questo circuito capacitivo è di 90°, e la corrente è in anticipo rispetto alla tensione. La potenza media è:

$$P=EI \cos \theta=300 \times 3 \times \cos 90° = 900 \times 0 = 0 \text{ watt}$$

Ne consegue che non si ha dissipazione di potenza nel circuito, pur dovendo il generatore fornire 900 watt che però vengono integralmente resi.

2) Il circuito della sezione **B** comprende una resistenza pura di 100 ohm, collegata ai capi del generatore. La corrente è ancora di 3 A., e, dal momento che la tensione e la corrente sono in fase, l'angolo di fase è 0°. La potenza apparente è:

$$P=EI=300 \times 3=900 \text{ watt}$$

mentre la potenza media è:

$$P=EI \cos \theta=300 \times 3 \times \cos 0° = 900 \times 1 = 900 \text{ watt}$$

Quindi, in questo caso la potenza apparente e quella effettiva sono eguali.

3) Il circuito della sezione **C** è costituito da una reattanza induttiva di 300 ohm, da una reattanza capacitiva di 100 ohm, e da una resistenza pura di 100 ohm. L'impedenza è data da:

$$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}=\sqrt{(100)^2+(200)^2}=\sqrt{50.000}=224 \text{ ohm}$$

La corrente che scorre nel circuito è:

$$I=E:Z=300:224=1{,}34 \text{ ampère}$$

L'angolo di fase di questo circuito eminentemente induttivo può essere determinato mediante il suo coseno, ossia:

$$\cos \theta = A:Z=100:224=0{,}446$$

dalle tabelle ricaviamo che: $\theta=63{,}4°$

La potenza media dissipata dal circuito è pari a:

$$P=EI \cos \theta=300 \times 1{,}34 \times 0{,}446=179 \text{ watt}$$

La potenza apparente è: $P=EI=300 \times 1{,}34=401$ watt

Il circuito consuma 179 watt, ma il generatore deve essere in grado di fornirne 401, di cui 222 vengono restituiti ad opera degli elementi reattivi.

CIRCUITI RISONANTI e FILTRI

Nell'etere coesistono onde radio provenienti dalle varie stazioni trasmittenti; con un apparecchio radio, noi sappiamo che possiamo scegliere la stazione che desideriamo ricevere sintonizzando il ricevitore sulla relativa frequenza. Ciò premesso, sappiamo anche che l'attitudine da parte di un apparecchio ricevente a selezionare, tra le tante, una sola stazione ignorando tutte le altre presenti contemporaneamente all'antenna, si chiama « selettività », la quale può essere ottenuta — abbiamo già visto — mediante l'impiego di uno o più circuiti sintonizzati, costituiti cioè da valori adatti di induttanza e di capacità (*LC*).

Ricordiamo che — così come abbiamo testè visto alla lezione precedente — un circuito sintonizzato « risuona » ad una data frequenza, quando le reciproche reattanze, induttiva e capacitiva, sono numericamente eguali nei confronti di quella frequenza.

Ci è noto anche, oramai, che la corrente che percorre una induttanza è in ritardo di 90° rispetto alla tensione che la determina, mentre in una capacità essa è in anticipo di 90°; le due reattanze provocano perciò uno sfasamento reciproco di 180°, e possono essere quindi rappresentate in direzioni opposte su un diagramma vettoriale.

Se esse si trovano nel medesimo circuito, si sottraggono a vicenda, per cui la differenza tra i due valori è la reattanza effettiva del circuito.

CIRCUITO RISONANTE in SERIE

Consideriamo il circuito in serie della **figura 1-A.** Alla frequenza del generatore, la reattanza induttiva X_L sia di 70 ohm, e quella capacitiva X_C di 25 ohm. Nella sezione **B** della figura è rappresentato il diagramma vettoriale delle reattanze, e, dal momento che come abbiamo detto, X_C è sfasata di 180° rispetto ad X_L, la prima può essere sottratta dalla seconda. Perciò, come si vede nella sezione **C** della figura, l'impedenza netta del circuito nei confronti del generatore ammonta al valore di una resistenza pura, in serie ad una reattanza induttiva pura di 45 ohm.

Supponiamo ora che la frequenza della tensione alternata prodotta dal generatore diminuisca: la reattanza del condensatore aumenta, e quella dell'induttanza diminuisce. Se in questo caso X_C è maggiore di X_L, il carico applicato al generatore si comporta come se fosse una resistenza in serie ad una capacità.

Supponiamo invece che la frequenza sia tale che la reattanza induttiva e quella capacitiva siano numericamente eguali. In questo caso sappiamo ciò che avviene: la loro differenza è zero, la reattanza netta è zero, e di conseguenza l'unica opposizione al passaggio della corrente nel circuito è dovuta alla resistenza.

Quando ciò si verifica — ricordiamo — il circuito viene detto risonante; se esso non comprende alcuna resistenza, e quella interna della sorgente di energia è pari a zero, la corrente che scorre tende ad assumere un valore infinito.

Qualsiasi circuito però contiene una certa resistenza ohmica, e ne consegue che la corrente non raggiunge mai il valore teorico infinito. Si noti, che esiste una sola frequenza rispetto alla quale le due reattanze sono numericamente eguali: in altre parole, mantenendo costanti i valori di *L* e di *C*, il circuito può risuonare su una sola frequenza.

Se la frequenza è più alta, il circuito sintonizzato in serie si comporta come un circuito esclusivamente induttivo, mentre se è più bassa, esso si comporta come se fosse esclusivamente capacitivo.

Se rappresentiamo graficamente il valore della corrente che scorre in un circuito risonante in serie, man mano che la frequenza viene aumentata da un valore basso ad un valore alto — tra i quali sia compreso quello di risonanza — otteniamo la curva illustrata nella **figura 2-A.** In essa, detta frequenza di risonanza, f_o, per la quale le reattanze sono eguali, è di 1.000 kHz. La corrente è massima nel punto corrispondente, mentre diminuisce rapidamente per frequenze inferiori e superiori.

Dal momento che la corrente di un circuito viene notevolmente influenzata dalla impedenza, quella di un circuito risonante in serie raggiunge il suo valore minimo alla frequenza di risonanza. La curva della variazione di impedenza di un circuito del tipo da noi considerato, nei confronti della frequenza stessa, è illustrata nella sezione **B** della figura.

Come sappiamo, la reattanza induttiva di una bobina è data da $X_L = 2\pi f_o L$, mentre la reattanza capacitiva di un condensatore è data da $X_C = 1 : 2\pi f_o C$.

Poichè alla frequenza di risonanza, f_o, i due valori sono eguali, si ha: $X_L = X_C$, ossia: $2\pi f_o L = 1 : 2\pi f_o C$, dalla quale, risolvendo rispetto a f_o, si ha che:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

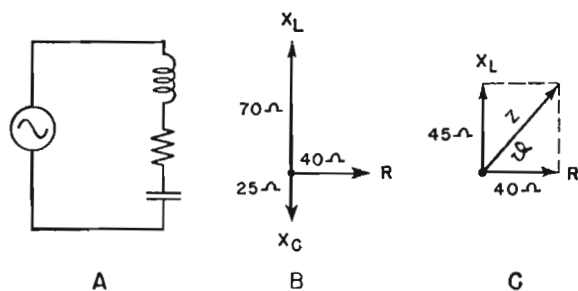



Fig. 1 — Nel circuito risonante in serie (figura A) alla maggiore reattanza induttiva (X_L) può essere sottratta la reattanza capacitiva (X_C) dato lo sfasamento di 180° (figura B). L'impedenza netta risulta essere (figura C) una resistenza pura in serie alla reattanza induttiva pura, residua.

Fig. 2 — Andamento della corrente (in A) in un circuito risonante in serie, e dell'impedenza (in B) nello stesso circuito. 1.000 kHz è la frequenza di esatta risonanza.

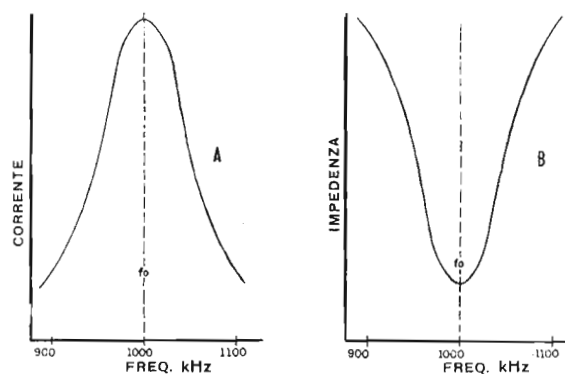
Questa equazione, che permette di ricavare il valore della frequenza di risonanza di un circuito sintonizzato, è molto importante nello studio dell'elettronica. Essa è necessaria per la progettazione dei filtri, dei circuiti « trappola », degli oscillatori, nonchè di molti altri dispositivi.

In tale equazione, si può notare che la frequenza di risonanza di un circuito può essere variata, variando sia l'induttanza che la capacità. Sappiamo che nella maggior parte dei ricevitori, la sintonia viene ottenuta agendo opportunamente sulla capacità di un condensatore variabile comandato a mezzo di una manopola demoltiplicata; ma abbiamo a suo tempo accennato all'esistenza di alcuni tipi di ricevitori nei quali si varia il valore della induttanza.

Man mano che uno dei due valori si allontana da quello necessario per la risonanza — sia in più che in meno — la corrente che circola in un circuito in serie diminuisce rapidamente. Tuttavia, per ogni valore raggiunto — sia di L che di C — è sempre possibile determinare la frequenza alla quale tale combinazione può nuovamente risuonare. Se si varia la capacità del circuito illustrato nella figura 1 in modo tale che la frequenza di risonanza sia f_o=1.100 kHz, si constata che la corrente massima viene ottenuta a tale frequenza. In qualsiasi circuito risonante nel quale la frequenza sia fissa, esiste un numero infinito di combinazioni dei valori di L e di C per le quali la risonanza stessa viene raggiunta; l'unica condizione indispensabile è che il prodotto di L e di C rimanga costante, ossia se si aumenta uno dei due, è necessario diminuire l'altro in conformità.

La curva inferiore della **figura 3** illustra il comportamento della reattanza capacitiva di un condensatore nei confronti di una frequenza variabile. Non è difficile notare che il valore di reattanza è massimo alle frequenze più basse, e viceversa, con una variazione esponenziale tra i due estremi.

La linea retta superiore illustra invece la variazione corrispondente della reattanza induttiva. La frequenza di risonanza si manifesta allorchè X_L è eguale ad X_C.

In un circuito risonante in serie, la reattanza è eminentemente capacitiva nei confronti delle frequenze inferiori a quella di risonanza, mentre nei confronti di quelle superiori alla frequenza di risonanza la reattanza è essenzialmente induttiva.

Un'altra caratteristica importante dei circuiti sintonizzati consiste nel fatto che, in effetti, essi amplificano la tensione del segnale scelto. Ad esempio, la tensione applicata ad un circuito sintonizzato può essere relativamente bassa, ma, se si verifica il fenomeno della risonanza, tale bassa tensione è sufficiente per provocare la presenza di notevoli correnti. Dal momento che la caduta di tensione presente ai capi di ogni componente è sempre proporzionale alla corrente che lo percorre, la tensione ai suoi capi raggiunge il suo valore massimo alla risonanza. Se la resistenza del circuito è molto bassa, la corrente è considerevole, e un'alta corrente produce un'ampia caduta di tensione $I\ X$ ai capi di L e di C.

Le due cadute di tensione sono di eguale ampiezza alla frequenza di risonanza, e di polarità opposta. Dato che sono di polarità opposta si elidono a vicenda nei confronti del generatore. Di conseguenza anche se l'energia disponibile è trascurabile, la caduta di $I\ X$ ai capi di L e di C può essere molto alta. Ognuna delle due cadute $I\ X$ può essere utilizzata per azionare altri circuiti radio in quanto, alla frequenza di risonanza è possibile sviluppare segnali di ampiezza apprezzabile.

Concludendo, le proprietà di un circuito risonante in serie in condizioni di risonanza, possono essere riassunte come segue:

1) La corrente è massima,

2) L'impedenza è minima,

3) Le tensioni ai capi di L e di C sono massime.

Questi tipi di circuiti risonanti vengono spesso usati in relazione all'antenna, sia nei trasmettitori che nei ricevitori; sono particolarmente adatti nel caso dei trasmettitori grazie al fatto che la corrente che scorre è massima soltanto per il valore di frequenza desiderato, per cui si ottiene la massima irradiazione solo per quella frequenza.

Essi possono inoltre essere impiegati come circuiti « trappola » e come filtri; di questi circuiti ci occuperemo quanto prima.

Selettività

Abbiamo visto che la resistenza di un circuito sintonizzato risonante in serie determina la corrente che lo percorre. La **figura 4** illustra l'andamento della corrente presente in tre circuiti di questo tipo, aventi i medesimi

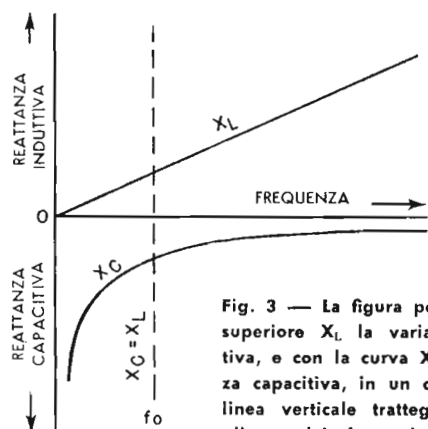



Fig. 3 — La figura pone in evidenza, con la retta superiore X_L la variazione della reattanza induttiva, e con la curva X_C la variazione della reattanza capacitiva, in un circuito risonante in serie. La linea verticale tratteggiata indica punti di egualianza dei due valori, vale a dire la risonanza.

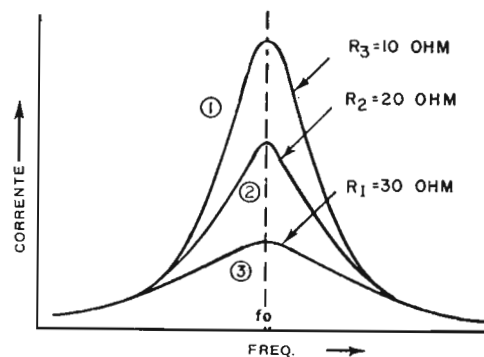



Fig. 4 — La resistenza di un circuito sintonizzato in serie ne determina la selettività: a minore valore resistivo corrisponde maggiore selettività.

valori di L e di C, ma presentanti differenti valori di resistenza. Il circuito avente la resistenza minore lascia passare la corrente massima. Si noti anche che esso ha la curva più appuntita. Perciò questo circuito offre la più alta selettività, vale a dire che respinge, se così si può dire, assai più di un circuito a curva larga, tutte le frequenze, ai lati della frequenza di risonanza.

La selettività di un circuito risonante viene definita come il rapporto tra la intensità della corrente alla frequenza di risonanza e quella della corrente che scorre ad una data altra frequenza. Pertanto, un circuito molto selettivo permette il passaggio di una notevole corrente quando risuona, e di correnti molto deboli a frequenze vicine alla risonanza. Viceversa, un circuito poco selettivo viene percorso da correnti pressochè eguali, sia alla frequenza di risonanza, che alle frequenze laterali a quest'ultima.

La resistenza del circuito ne determina quindi la selettività. Quest'ultima deve necessariamente essere alta nella maggior parte dei circuiti.

Ad esempio, all'ingresso di un apparecchio radio ricevente sono disponibili le frequenze dei segnali provenienti da centinaia di emittenti, alcune delle quali hanno valori di frequenza molto prossimi tra loro. In questo caso solo un circuito risonante ad alta selettività può selezionarne una sola respingendo tutte le altre. Vi è una eccezione, che vedremo assai meglio dopo aver analizzato a fondo il fenomeno della modulazione dei segnali, ed alla quale facciamo qui solo un breve cenno: è il caso della ricezione delle emittenti a modulazione di frequenza. La eccessiva selettività si rivela in questa tecnica in un certo senso dannosa al buon funzionamento, ed è allora necessario aggiungere al circuito risonante una resistenza il cui compito è appunto di allargare la banda delle frequenze sulle quali il circuito può funzionare.

CIRCUITO RISONANTE in PARALLELO

Quando una induttanza ed un condensatore sono collegati in parallelo, l'assieme viene detto circuito risonante sintonizzato in parallelo. Come nel caso del circuito in serie, si ha la risonanza allorchè la reattanza induttiva è eguale a quella capacitiva. Ciononostante, nel circuito risonante in parallelo si hanno delle caratteristiche totalmente differenti da quelle del circuito risonante in serie.

Come abbiamo visto, nel circuito *in serie*, in condizioni di risonanza le cadute di tensione ai capi di L e di C sono eguali e di segno contrario, e la corrente che circola nel circuito assume il valore massimo. La tensione applicata può essere piccola, ma tensioni assai alte possono verificarsi ai capi dell'induttanza e della capacità. In un circuito risonante *in parallelo* invece, la tensione presente ai capi di ognuno dei rami è la medesima, e la corrente si divide tra i due. Le correnti dei rami risultano sfasate rispetto alle relative tensioni, quando i rami offrono reattanze: per cui, ognuno di essi può essere percorso da una corrente di intensità maggiore di quella di linea in quanto la somma vettoriale di due forti correnti può essere una corrente debole.

Consideriamo il circuito in parallelo della **figura 5-A.** La corrente che percorre il ramo capacitivo (16 ampère) è in anticipo di 90° rispetto alla tensione applicata E, mentre la corrente presente nel ramo induttivo (13 ampère) è in ritardo di 90° rispetto alla medesima tensione. La corrente che passa attraverso la resistenza (4 ampère) è in fase con la tensione E. Tutte queste correnti sono rappresentate vettorialmente nella sezione **B** della figura. Dal momento che le correnti sono in fase opposta, la minore viene sottratta dalla maggiore. Nel nostro caso, la differenza tra I_C ed I_L lascia come corrente residua una corrente capacitiva netta di 3 ampère; questa corrente si combina con quella resistiva di 4 ampère per costituire la corrente di linea, I_T, per cui si ha:

$$I_T = \sqrt{I_{R_2} + I_{C_2}} \quad \text{ossia} \quad I_T = \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ ampère}$$

La risonanza si verifica quando I_C è eguale ad I_L. In tale caso le correnti reattive si elidono a vicenda riducendo la corrente totale a soli 4 ampère che è la corrente resistiva. Se la resistenza è di valore infinito — ossia se non esiste praticamente un ramo resistivo — la corrente totale (I_T), si approssima a zero.

È importante notare che nel circuito risonante in parallelo, *la corrente* in condizioni di risonanza *è un minimo.* Ciò è esattamente in contrario di quanto accade nel circuito risonante in serie nel quale, a risonanza, la corrente è *ad un massimo.* Nel circuito in parallelo, man mano che la frequenza si approssima al valore di risonanza, il valore X_L si approssima a quello di X_C; le cor-

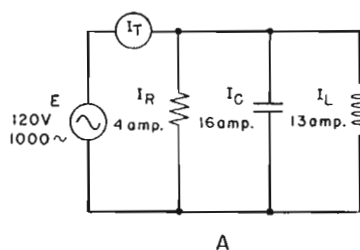



Fig. 5 — Circuito risonante (in A) le cui corrente (I_C - I_L - I_R) sono rappresentate vettorialmente alla fig. B unitamente alla tensione, « E ». In B, si vede come sottraendo I_L da I_C in quanto in fase opposta, rimangano 3 ampère di I_C che con I_R danno la corrente totale, I_T.

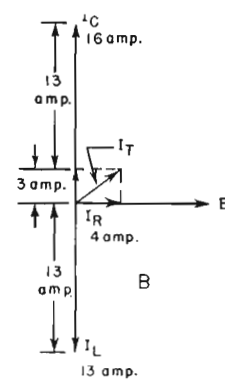



Fig. 6 — Andamento dell'impedenza (in A) in un circuito risonante in parallelo, e della corrente (in B) nello stesso circuito per la frequenza di risonanza. Si noti l'andamento del tutto contrario rispetto a quello del circuito in serie, riportato alla figura 2.

renti reattive si elidono sempre più, col risultato che la corrente di linea continua a diminuire, finchè — raggiunta la frequenza di risonasza — le correnti reattive si annullano completamente e rimane soltanto quella resistiva, come abbiamo visto sopra.

Se fosse possibile collegare in parallelo una capacità ed una induttanza pura, e se tale circuito (senza resistenza) fosse sintonizzato sulla sua frequenza di risonanza, si avrebbe una corrente di linea pari a zero, pur essendo notevoli le correnti in ogni ramo singolo. Così, il circuito risonante in parallelo si comporta, a risonanza, nei confronti della sorgente di energia, come un carico ad alta impedenza. In altre parole, alla frequenza di risonanza la corrente di linea è minima e l'impedenza è massima.

La **figura 6** illustra le variazioni di impedenza e di corrente col variare della frequenza; è opportuno confrontare queste curve con quelle della figura 2 relative al circuito risonante in serie.

Le curve di figura 6 mostrano che, se la frequenza proveniente dal generatore non corrisponde a quella di risonanza, la corrente di linea aumenta, vale a dire, l'impedenza dell'intero circuito diminuisce. In **figura 7-A** è rappresentato un circuito risonante in parallelo ideale in quanto privo di resistenza; nelle sezioni **B**, **C**, e **D** è rappresentato il comportamento a tre diverse frequenze, rispettivamente al di sotto, in corrispondenza, ed al di sopra della frequenza di risonanza.

Nel primo caso, la reattanza capacitiva aumenta e la reattanza induttiva diminuisce; di conseguenza si ha un flusso di corrente maggiore nel ramo induttivo. Tale ampia corrente induttiva annulla la debole corrente capacitiva lasciando una corrente netta in ritardo rispetto alla tensione. Ne consegue che, per frequenze inferiori a quella di risonanza, l'intero carico si comporta nei confronti del generatore come se fosse soltanto induttivo.

Nel secondo caso (frequenza superiore alla risonanza) X_L aumenta mentre X_C diminuisce, per cui la corrente maggiore scorre nel condensatore. La corrente è quindi in anticipo rispetto alla tensione, ossia il carico si comporta come se fosse esclusivamente capacitivo.

La maggior differenza tra il circuito risonante in serie e quello risonante in parallelo consiste nel comportamento del carico nei confronti della sorgente di energia per frequenze diverse da quella di risonanza. Nel secondo tipo la corrente è il fattore determinante. Per esempio, al di sopra della risonanza, X_L aumenta mentre X_C diminuisce, per cui si ha una corrente maggiore nel ramo capacitivo. Tale corrente I_C, elide la debole corrente induttiva, I_L, e la reattanza netta risulta al carico eminentemente *capacitiva*. Nel circuito risonante in serie invece, per frequenze superiori a quella di risonanza, le correnti presenti di L ed in C sono eguali. Tuttavia, dal momento che X_L aumenta mentre X_C diminuisce, la caduta di tensione presente ai capi della bobina è maggiore di quella presente ai capi del condensatore; essendo entrambe reciprocamente sfasate di 180°, si sottraggono, lasciando una caduta di tensione netta ai capi di L, quindi, nei confronti del generatore, il carico è eminentemente *induttivo*.

La sintonia del circuito in parallelo viene generalmente ottenuta variando il valore di capacità. Le condizioni di risonanza vengono denunciate dal fatto che un amperometro eventualmente collegato in serie alla linea dà la minima indicazione; ciò significa che la maggior parte della corrente scorre nel circuito sintonizzato in parallelo.

Dal momento che qualsiasi circuito ha una propria resistenza, la corrente di linea non può mai raggiungere il valore zero. Tale resistenza è dovuta quasi interamente alla resistenza del conduttore che costituisce la bobina. La resistenza del ramo induttivo, come si nota osservando la **figura 8-A**, compromette il bilanciamento tra I_C ed I_L.

In questa figura si nota appunto che il ramo induttivo ha una sua resistenza, che viene raffigurata in serie alla bobina (mentre in realtà ne fa parte integrale). La corrente che percorre il ramo induttivo non è mai sfasata, per tale motivo, esattamente di 180° rispetto a quella del ramo capacitivo (vedi sezione **B**), e questo è anche il motivo per il quale la corrente di linea non può mai essere pari a zero.

Maggiore è la resistenza nel circuito, minore è l'effetto di elisione, ossia di reciproco annullamento, tra le correnti dei due rami, e maggiore è la corrente di linea presente alla frequenza di risonanza. Per meglio chiarire ciò, la **figura 9** illustra la curva della corrente in tre circuiti eguali, aventi cioè i medesimi valori di induttanza e di capacità, ma differenti valori di resistenza: è evidente che, con l'aumentare della resistenza, la curva si allarga e si appiattisce.

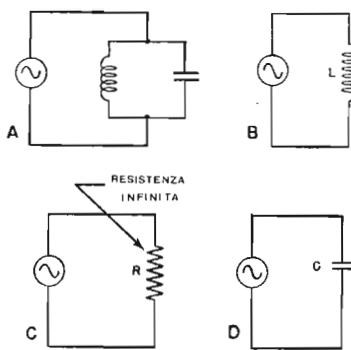



Fig. 7 — Circuito in parallelo (in A) e risultante (in B) per frequenze sotto, pari (in C) e sopra (in D) alla risonanza.

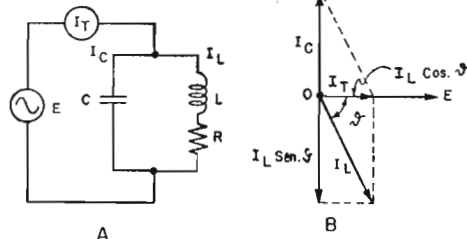



Fig. 8 — Nel circuito (figura A) vi è sempre una certa resistenza, R, dovuta al conduttore che forma « L ». Detta resistenza impedisce uno sfasamento di 180° esatti (vedi B) e di conseguenza la corrente di linea non può scendere a zero.

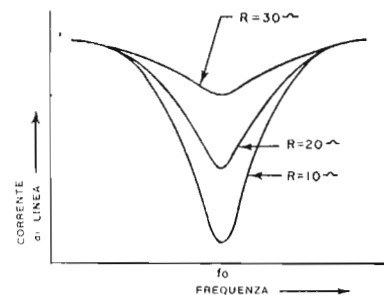



Fig. 9 — Aumentando la resistenza nel circuito, la corrente induttiva e quella capacitiva si elidono sempre meno, la corrente di linea aumenta e la curva di risonanza si appiattisce.

L'impedenza di un circuito risonante in parallelo è massima alla frequenza di risonanza, e diminuisce per tutte le altre frequenze inferiori e superiori. Come sappiamo, si ha il massimo trasferimento di energia da un generatore ad un carico allorchè le reciproche resistenze interne, o impedenze, sono eguali: come vedremo in seguito, di solito negli apparecchi radio a « valvola», le valvole stesse si presentano come dispositivi ad alta resistenza interna, per cui è conveniente usare con esse circuiti risonanti in parallelo come circuiti di entrata e di uscita.

I circuiti risonanti in parallelo sono utilizzati anche come filtri, come circuiti « trappola », nonchè come circuiti oscillanti di accoppiamento e circuiti « volano »; la loro selettività viene definita esattamente come per i tipi in serie. Infatti, un circuito risonante ad alta selettività ha una curva appuntita, sia della corrente sia della impedenza, in funzione della frequenza.

Principio del circuito « volano »

Il circuito risonante in parallelo viene spesso chiamato circuito « volano » o circuito « serbatoio ». Se il condensatore viene caricato mediante una batteria (corrente continua) e dopo, la batteria viene staccata, si ha la produzione di una corrente alternata di breve durata con frequenza pari a quella di risonanza del circuito. Questa c.a. si riduce progressivamente in ampiezza fino a cessare del tutto, come abbiamo visto a suo tempo. Riassumendo, l'energia viene in un primo tempo immagazzinata nella capacità, e quindi trasferita alla bobina, ossia trasformata in un campo magnetico circostante la stessa. La corrente diventa alternata in quanto inverte la sua direzione alla frequenza di risonanza del circuito sintonizzato. I cicli successivi si ripeterebbero all'infinito se il circuito non avesse una certa resistenza, la quale, essendo inevitabilmente presente, dissipa una certa quantità di energia durante ogni ciclo, facendo diminuire perciò l'ampiezza, ma — si noti — lasciando inalterata la frequenza.

Per produrre una corrente alternata persistente in un circuito oscillante in parallelo, basta supplire alle perdite dovute a detta resistenza. A volte, è sufficiente una potenza minima per mantenere in oscillazione una corrente considerevole in un circuito risonante.

La corrente alternata che si genera nel modo che abbiamo accennato viene denominata **corrente oscillatoria.** I circuiti oscillanti che la producono vengono detti « circuiti serbatoio » (« tank circuit » in inglese), per il fatto che essi sono in grado di immagazzinare l'energia atta ad oscillare, oppure circuiti « volano » per il loro effetto di inerzia.

RESISTENZA EFFETTIVA alla C.A.

Rivediamo ora gli effetti della resistenza in un circuito risonante. Sia nel tipo in serie che nel tipo in parallelo, essa riduce l'acutezza della curva di risonanza, ossia riduce la selettività del circuito.

Nel circuito in parallelo, la resistenza riduce l'impedenza totale, che è massima alla frequenza di risonanza, e come conseguenza la corrente di linea aumenta.

L'impedenza del circuito in serie, che è minima in condizioni di risonanza, viene aumentata dalla resistenza, con la conseguenza di una diminuzione della corrente di linea.

La resistenza aumenta quindi la potenza dispersa di qualsiasi circuito. Nei circuiti risonanti la maggior parte delle perdite si espleta nella bobina. Queste perdite sono dovute alla resistenza ohmica, all'isteresi, alle correnti di Focault, e ad altri effetti propri delle bobine.

La resistenza di ogni circuito può perciò essere definita in termini di potenza dissipata. Essa può essere consumata sotto forma di calore, di irradiazione, nonchè di accoppiamento magnetico con altri circuiti. Le perdite causate dalla resistenza ohmica avvengono con produzione di energia termica; sappiamo che il valore efficace di una corrente o tensione a c.a. è quel valore che, in una resistenza, produce una quantità di calore pari a quello prodotto dal corrispondente valore di corrente o tensione continua. Tuttavia, riferendoci alla corrente alternata nei circuiti reattivi, è possibile venga dissipata una certa potenza senza produzione di calore. Ad esempio, può essere dissipata potenza a causa dell'irradiazione. Un conduttore che sia sede di corrente alternata ad Alta Frequenza irradia energia sotto forma di radioonde. Tale filo presenta una sua resistenza di irradiazione che corrisponde al rapporto tra la potenza totale irradiata ed il quadrato della corrente. Le antenne sono quindi progettate in modo tale da presentare una note-

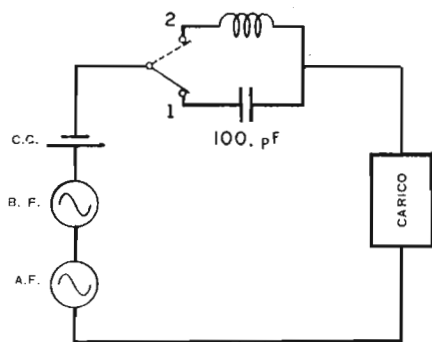



Fig. 10 — La tensione delle tre diverse sorgenti raggiunge o meno il carico a seconda che il commutatore sia su 1 o su 2, in relazione al tipo di f.e.m. (corr. continua, c.a. frequenza alta, frequenza bassa).

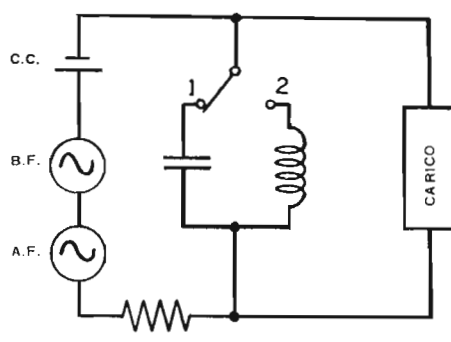



Fig. 11 — Ponendo il condensatore o l'induttanza in parallelo al carico anzichè in serie come nella figura precedente, le diverse f.e.m. si comportano in maniera opposta circa il raggiungimento o meno del carico.

vole resistenza di irradiazione, con la minima resistenza ohmica possibile, onde evitare che la potenza si dissipi in calore e non più in irradiazione, come necessario.

Un circuito percorso da c.a. può consumare energia in quantità molto maggiore che non un circuito percorso da corrente continua. Nei confronti della c.a. il termine « resistenza » si riferisce a tutti i fenomeni che dissipano energia in modo tale che essa non possa essere ricuperata a beneficio del circuito stesso.

La resistenza riferita rispetto al consumo di potenza a c.a. viene definita **resistenza effettiva alla corrente alternata.** Essa è maggiore della resistenza ohmica a causa delle correnti di Focault, dell'isteresi, dell'effetto pellicolare (quello cioè di cui si è detto alla lezione sulle induttanze e secondo il quale le correnti alternate ad A.F. tendono a percorrere soltanto la superficie esterna dei conduttori), nonchè di altri fenomeni. Le correnti parassite determinano perdite termiche in quanto sono correnti indotte in qualsiasi conduttore che si trovi all'interno del campo magnetico variabile del circuito. Esse sono in modo particolare causa di inconvenienti nei nuclei ferrosi dei trasformatori. L'isteresi aumenta le perdite di calore nei conduttori di materiali magnetici, nonchè in tutti i componenti circostanti costituiti da tali materiali. L'effetto pellicolare costituisce perdite di potenza nei circuiti a c.a. ad Alta Frequenza; la distribuzione non uniforme della corrente che attraversa un conduttore è più pronunciata in una bobina che non in un comune collegamento. Nei confronti delle frequenze elevate, la resistenza effettiva alla c.a. può essere da 10 a 100 volte quella effettiva alla corrente continua.

È della massima importanza evitare di confondere la resistenza alla c.a. di una bobina con la sua reattanza, ed è opportuno specificare che, in ogni considerazione relativa alle caratteristiche di un componente funzionante in c.a., *la resistenza denunciata si riferisce sempre al valore effettivo della stessa.*

FATTORE « Q » di una BOBINA

Dal momento che la resistenza di un circuito sintonizzato è essenzialmente nella bobina il rapporto tra la reattanza induttiva e la sua resistenza costituisce la misura dell'efficienza o « rendimento » di quella bobina. In proposito ci richiamiamo a quanto abbiamo già detto alla nostra lezione 29ª. Detto rapporto vale anche agli effetti dell'intero circuito per determinare la qualità. Esso è definito dalla lettera Q, ed espresso dalla formula:

$$Q = X_L : R$$

Il valore di Q viene a volte denominato, come già sappiamo, « fattore di merito della bobina ». La resistenza effettiva di una bobina è proporzionale alla frequenza in modo approssimato, mentre la reattanza induttiva lo è in maniera esatta. Per questo motivo il fattore Q resta pressochè costante per un'ampia gamma di frequenze, pur diminuendo leggermente con l'aumentare delle stesse. Mentre un circuito con un alto valore di Q ha una curva di risonanza appuntita, un circuito con un basso valore di Q ha invece una curva piuttosto piatta.

Il Q di un circuito risonante la cui bobina sia avvolta su di un nucleo di materiale ferroso varia da 10 a 100. Le cavità risonanti rivestite in argento ed usate nei circuiti per onde ultra-corte hanno un fattore Q che raggiunge il valore di 30.000.

Un altro metodo per definire il fattore di merito consiste nel dire che esso è un confronto tra la potenza totale presente in un circuito sintonizzato e la potenza dissipata dalla sua resistenza.

L'impedenza di un circuito risonante in parallelo alla frequenza di risonanza corrisponde a Q volte la reattanza o della bobina o del condensatore. Quindi:

$Z = QX_L = QX_C$ ($X_L = X_C$ in condizione di risonanza)

e, dal momento che: $Q = X_L : R$

eseguendo la sostituzione rispetto a Q, si ha che:

$$Z = \frac{X_L X_L}{R} = \frac{X_L^2}{R}$$

La corrente che circola in un circuito oscillante risonante in parallelo equivale a Q volte la corrente di linea:

$$I_{oscillatore} = QI_{linea}$$

FILTRI

Sappiamo, generalmente, che cosa siano i filtri meccanici: dispositivi che lasciano passare determinati ingredienti mentre ne respingono altri indesiderati. Del pari, in elettronica, i filtri selezionano l'energia di una fre-

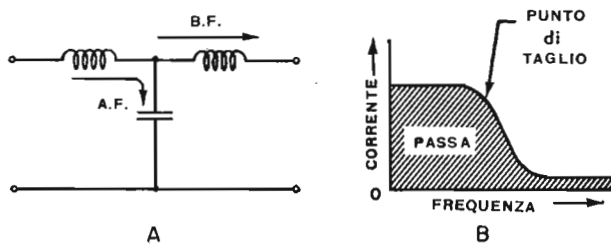



Fig. 12 — In A è riprodotto un filtro « passa basso ». Per comprenderne il funzionamento esso va considerato come un assieme di circuiti in serie e in parallelo. Le frequenze alte che superano la prima induttanza trovano più facile via tramite il condensatore: quelle basse invece incontrano minore ostacolo nell'induttanza: per questo, passano solo le frequenze basse, come illustrato in B.

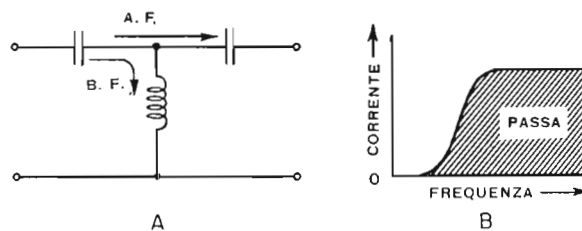



Fig. 13 — Si tratta di un filtro che compie funzioni inverse a quelle del filtro della figura a lato e che viene detto perciò « passa alto ». Come si vede, è invertita la posizione degli elementi (induttanza e capacità) per cui le frequenze alte preferiscono la via capacitiva mentre quelle basse, dopo il primo condensatore, si avviano tramite l'induttanza. Il risultato è illustrato in B.

quenza desiderata, o di una gamma di frequenze, e respingono quella delle frequenze indesiderate.

La reattanza di una bobina e di un condensatore varia col variare della frequenza; di conseguenza, mediante varie sistemazioni di bobine, condensatori e circuiti sintonizzanti, è possibile separare non soltanto la corrente continua (frequenza zero) da quella alternata, ma anche correnti alternate di differenti frequenze.

L'impiego di solo resistenze non permette di effettuare una azione di filtraggio in quanto viene opposta la medesima resistenza a tutte le correnti, indipendentemente dalla frequenza. Tuttavia, allorchè resistenza e capacità vengono combinate in un circuito di filtraggio, la resistenza regola la velocità di carica e di scarica della capacità ed influisce allora sulla discriminazione di frequenza del filtro così costituito.

Prima di parlare delle diverse classi dei filtri, è opportuno considerare gli effetti dei singoli condensatori e induttanze collegate in serie o in parallelo ad un carico. La **figura 10** illustra un circuito provvisto di tre sorgenti di forza elettromotrice, e precisamente una batteria che fornisce c.c., un alternatore che produce c.a. a frequenza bassa, ed un secondo alternatore che fornisce c.a. a frequenza alta.

Quando il commutatore è in posizione *1*, la capacità è inserita nel circuito. La c.c. è completamente eliminata in quanto il condensatore oppone un'impedenza infinita al suo passaggio. La c.a. a frequenza bassa viene notevolmente attenuata dalla piccola capacità dato che la sua reattanza è molto grande rispetto alle frequenze basse. Tuttavia, l'impedenza della capacità è molto lieve rispetto alle frequenze elevate (eventualmente, radiofrequenze), per cui la corrispondente corrente può scorrere liberamente nel circuito.

Quando invece, il commutatore è in posizione *2* la bobina risulta in serie al carico. La corrente continua viene attenuata molto poco. Egualmente — dal momento che X_L è direttamente proporzionale alla frequenza — la reattanza opposta alle frequenze basse è minima, mentre l'impedenza opposta alle frequenze alte è talmente elevata che, per la maggior parte non possono raggiungere il carico.

La **figura 11** illustra un circuito provvisto delle medesime sorgenti di energia presenti nel circuito precedente, con la differenza che il commutatore permette di inserire o la bobina, o il condensatore, in parallelo al carico invece che in serie. In posizione *1* il condensatore si trova in parallelo al carico, e, mentre la c.c. e quella alternata a bassa frequenza non passano attraverso l'alta reattanza capacitiva da esso offerta — per cui scorrono principalmente attraverso il carico — la corrente a frequenza alta può invece attraversare il condensatore.

L'effetto opposto si verifica quando, spostando il commutatore in posizione *2*, si connette la bobina in parallelo al carico. In questo caso le correnti ad alta frequenza scelgono la strada che offre loro la minore opposizione, passano cioè attraverso il carico in quanto il ramo induttivo presenta una reattanza che costituisce un notevole impedimento. La c.c. e quella alternata a frequenza bassa vengono invece sottratte al carico perchè passano attraverso la bobina che presenta per loro una bassa reattanza.

Filtri passa basso

La **figura 12-A** illustra un filtro di questo tipo. Esso, come è denunciato dal suo stesso nome, permette il passaggio delle sole frequenze basse tra quelle eventualmente facenti parte di correnti complesse formate da varie frequenze di vario valore.

Il funzionamento di questo filtro può essere illustrato considerando semplicemente il suo effetto come circuito d'assieme in serie e in parallelo. La sezione in serie è costituita da induttanze, e noi sappiamo che l'impedenza delle induttanze è proporzionale alla frequenza: pertanto, con l'aumentare di quest'ultima, l'impedenza stessa aumenta rendendo difficile il passaggio alle frequenze elevate. In altre parole, una induttanza in serie permette il libero passaggio delle correnti alternate a Bassa Frequenza, mentre offre una impedenza notevole alle correnti ad Alta Frequenza. D'altro canto, la sezione in parallelo del filtro (ossia il condensatore) offre una minima impedenza alle frequenze elevate, mentre si comporta pressochè come un circuito aperto nei confronti delle frequenze basse; perciò, la corrente si divide nel filtro come è illustrato nella figura. Le frequenze alte sono filtrate e solo quelle basse passono. I valori di induttanza e di capacità possono essere regolati in modo tale che le frequenze subiscano una minima attenuazione fino ad un certo valore (**frequenza di taglio**), ed una attenuazione massima oltre tale valore. Naturalmen-

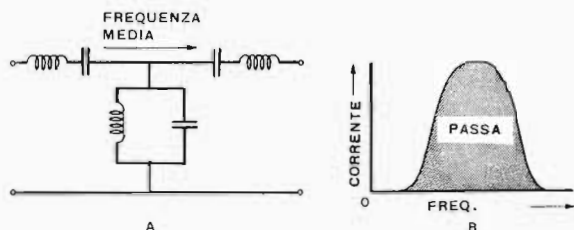



Fig. 14 — Filtro « passa banda ». La sezione in parallelo è un circuito risonante sulla gamma di frequenza che si vuole far passare: esso offre facile passaggio a tutte le altre frequenze e perciò le devia. Le sezioni in serie sono risonanti anch'esse sulla banda desiderata in uscita: pongono ostacolo a tutte le frequenze tranne che a quelle della banda passante. In B è riprodotto l'effetto del filtro.

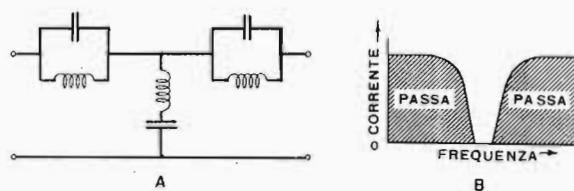



Fig. 15 — Filtro per « eliminazione di banda ». Invertendo la disposizione dei circuiti risonanti (serie-parallelo) adottati nel filtro di figura 14, si può ottenere l'effetto contrario, ossia l'eliminazione di una banda di frequenza ed il passaggio di tutte le altre, inferiori e superiori. La sezione B della figura mostra quanto si ottiene all'uscita del filtro. I limiti e la posizione della banda dipendono naturalmente dai valori adottati.

te, non esiste un limite intermedio ben determinato in quanto, come si è detto, la reattanza varia col variare della frequenza, per cui ogni filtro passa basso avrà una sua particolare curva di risposta come quella illustrata nella sezione **B** della figura.

Filtri passa alto

La **figura 13** mostra un esempio di tale filtro. Le capacità in serie offrono una impedenza bassa alle frequenze elevate, mentre a tali frequenze viene offerta una impedenza notevole da parte dell'induttanza collegata in parallelo. Ne consegue, che le correnti ad Alta Frequenza passano attraverso il filtro subendo soltanto una lieve attenuazione.

Le Basse Frequenze vengono attenuate notevolmente in quanto i componenti si comportano nei loro confronti in maniera opposta, ossia offrono un'alta reattanza capacitiva in serie ed una bassa reattanza induttiva in parallelo. Diversamente dal filtro precedente, mentre le frequenze basse vengono filtrate, le frequenze alte possono passare pressochè indisturbate. La sezione **B** della figura illustra la curva di risposta di questo tipo di filtro. I valori dei componenti possono essere regolati in modo tale da permettere l'attenuazione desiderata in maniera che sia massima alle frequenze da eliminare e minima a quelle necessarie.

Filtri passa banda

Un filtro passa banda come quello illustrato nella **figura 14-A**, ha il compito di permettere il passaggio di correnti le cui frequenze sono contenute entro una gamma continua limitata da un valore massimo e da un valore minimo (frequenze di taglio). In questo tipo di filtro la sezione « shunt » è un circuito risonante in parallelo, il quale risuona alle frequenze compresa nella gamma desiderata, cioè quella da far passare. Le sezioni in serie sono altrettanti circuiti risonanti in serie sulle medesime frequenze. In tal modo esse pongono un'alta impedenza a tutte le frequenze, tranne che a quelle della banda desiderata; la sezione in parallelo offre una bassa impedenza a tutte le frequenze al di qua e al di là della gamma scelta. Il risultato è che solo la banda di frequenza desiderata passa attraverso il filtro mentre tutte le altre frequenze sono deviate. Anche in questo caso i componenti possono essere regolati opportunamente. La sezione **B** della figura mostra la curva di risposta di un circuito di questo tipo.

Filtri di eliminazione di banda

Il compito di questo tipo di filtro consiste **1)** nella soppressione di tutte le frequenze comprese entro una determinata gamma, limitata dalle frequenze di taglio superiore ed inferiore e, **2)** nel permettere il passaggio a tutte le frequenze al di fuori di tale banda. La **figura 15-A** ne illustra un esempio; nella sezione **B** è visibile la caratteristica di frequenza. I circuiti risonanti in parallelo costituenti il ramo in serie offrono una impedenza elevata a tutte le frequenze indesiderate. La sezione di « shunt », costituita da un circuito risonante in serie, si comporta pressochè come un cortocircuito nei confronti di tali frequenze e impedisce quindi il passaggio attraverso il carico. Tutte le altre frequenze, superiori o inferiori alla banda da eliminare, trovano in tale filtro una minima impedenza attraverso i circuiti risonanti in parallelo, ed una notevole impedenza nella sezione in parallelo, per cui possono passare per raggiungere il carico.

Applicazioni generali dei filtri

I filtri comunemente intesi vengono usati nei circuiti di alimentazione derivati dalla rete c.a. Infatti, la tensione alternata viene in un primo tempo rettificata e quindi trasformata in c.c. pulsante, la quale scorre in un'unica direzione. Allo scopo di eliminare le pulsazioni e di livellare la corrente stessa, si usa un filtro passa basso la cui frequenza di taglio sia inferiore alla frequenza delle pulsazioni (generalmente 50 o 100 Hertz). La corrente continua pulsante di cui si è detto può essere considerata come composta di c.c. più una componente alternata; il filtro passa basso elimina la componente alternata permettendo il passaggio alla sola corrente continua.

I filtri passa banda vengono usati invece nei circuiti di sintonia dei ricevitori a stadi accordati, nonchè nei ricevitori « supereterodina ». Vedremo a suo tempo il loro pratico impiego.

È possibile usare i filtri, in serie tra loro, per ottenere un migliore filtraggio. Ad esempio, due filtri passa basso in serie eliminano frequenze indesiderate meglio di una sezione sola, per cui può, a volte, essere necessario l'uso di diverse cellule filtranti.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

E_L = Tensione ai capi di un'induttanza

E_C = Tensione ai capi di una capacità

P_{app} = Potenza apparente

P_m = Potenza media

F_o = Frequenza di risonanza. A volte « f_o »

FORMULE

$E_L = IX_L$

$E_L = I\,(2\pi FL)$

$E_C = IX_C$

$E_C = I\,(1:2\pi FC)$

$P_{app} = I^2Z$

$P_{app} = E^2:Z$

$P_m = EI\,(R:Z)$

$P_m = EI\cos\vartheta$

$$P_m = \frac{(\text{area anse positive}) - (\text{area anse negative})}{\text{lunghezza di un ciclo in radianti}}$$

$$P = \frac{E_{max}\,I_{max}}{2}$$

$Q = X_L:R$

In un circuito in serie L-C-R:

$$e = e_R + e_L + e_C$$

$$E = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi FL - \frac{1}{2\pi FC}\right)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

In un circuito risonante:

$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Un circuito L-C è in risonanza quando:

$$X_L = X_C$$

In un circuito L-C in parallelo:

$$Z = \frac{X_L\,X_C}{X_L + X_C}$$

DOMANDE sulle LEZIONI 34ª e 35ª

N. 1 — Quale relazione sussiste tra le cadute di tensione presenti in un circuito in serie L-R o C-R percorso da corrente alternata?

N. 2 — Quali relazioni sussistono tra le cadute di tensione presenti in un circuito in serie R-C-L percorso da corrente alternata?

N. 3 — Come si comporta un circuito L-C nei confronti della corrente, se la reattanza induttiva è eguale a quella capacitiva?

N. 4 — In quali condizioni si trova un circuito L-C se la reattanza induttiva è eguale a quella capacitiva?

N. 5 — Quale relazione sussiste tra le correnti dei due rami in un circuito L-C in parallelo?

N. 6 — Quali fenomeni si verificano in un circuito L-C risonante in parallelo?

N. 7 — La curva che esprime graficamente l'andamento della potenza in corrente alternata ha soltanto anse positive?

N. 8 — Cosa si intende per « potenza apparente » in un circuito L-C-R?

N. 9 — Quale è la formula che definisce la potenza media effettiva?

N. 10 — Quale è la caratteristica che in un circuito L-C-R dissipa effettivamente una certa potenza allorchè esso è percorso da corrente alternata?

N. 11 — Che cosa determina l'intensità della corrente che circola in un circuito risonante?

N. 12 — Come si comporta un circuito L-C in serie nei confronti del generatore allorchè è sintonizzato su una frequenza inferiore a quella di risonanza?

N. 13 — Quale valore induttivo deve essere collegato in serie ad una capacità di 250 pF, per ottenere la risonanza a 500 kHz?

N. 14 — In qualsiasi circuito L-C sintonizzato, cosa accade alla frequenza di risonanza se la capacità aumenta?

N. 15 — Nei confronti della sorgente di tensione, come sono le tensioni presenti ai capi di un'induttanza e di una capacità in un circuito risonante in serie, alla frequenza di risonanza?

N. 16 — Come si comporta un circuito risonante in parallelo nei confronti del generatore se la frequenza di sintonia è inferiore a quella di risonanza?

N. 17 — Come deve essere collegato un circuito risonante in parallelo nei confronti del carico per eliminare una determinata gamma di frequenze?

N. 18 — Di che tipo è un filtro usato per impedire il passaggio di una tensione alternata avente una frequenza di 50 Hz?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 257

N. 1 —
Sotto forma di un campo elettrostatico.

N. 2 —
Per costante dielettrica si intende il rapporto tra il numero delle linee elettriche che si creano in un materiale dielettrico e quello delle linee che si creerebbero nell'aria una volta tolto detto materiale, ferme restando tutte le altre caratteristiche meccaniche ed elettriche.

N. 3 —
Viene denominato « corrente di spostamento dielettrico ».

N. 4 —
La superficie degli elettrodi (solo quella interessata), la distanza tra gli stessi, e la costante dielettrica del materiale presente tra loro.

N. 5 —
La capacità aumenta.

N. 6 —
Aumenta, in quanto le due capacità si sommano.

N. 7 —
Nessuna resistenza o impedenza; il condensatore si comporta al primo istante come un corto-circuito.

N. 8 —
La corrente aumenta, in quanto la reattanza diminuisce con l'aumentare della frequenza.

N. 9 —
Si sviluppa una tensione di 17,29 volt, in 80 secondi.

N. 10 —
Che in una induttanza la tensione è in anticipo rispetto alla corrente, e che in una capacità invece la corrente è in anticipo rispetto alla tensione.

N. 11 —
La reattanza è pari a 79,5 ohm.

N. 12 —
La capacità ammonta a 0,002 F, ossia a 2.000 μF.

N. 13 —
Corrisponde a 20 μF.

N. 14 —
Corrisponde a 2.000 pF.

N. 15 —
Perchè i suoi elettrodi, avvolti a spirale per costituire un unico blocco di forma cilindrica, costituiscono oltre che una capacità due induttanze accoppiate tra loro.

N. 16 —
La capacità è di 1.000 pF.

N. 17 —
La capacità è di 66,7 pF.

N. 18 —
Per ragioni di assoluta sicurezza, del 50%.

N. 19 —
Dalle caratteristiche e dallo spessore del dielettrico.

N. 20 —
Il minimo spessore del dielettrico.

N. 21 —
A correggere differenze di capacità.

N. 22 —
Per ottenere una variazione di capacità non lineare.

TABELLA 49 —

GRAFICO per il CALCOLO dello SFASAMENTO nei CIRCUITI R-C, R-L ed R-C-L

Il grafico (pagina a lato), consente il calcolo dello sfasamento di una caduta di tensione alternata presente *ai capi di una resistenza, nei confronti della tensione della sorgente,* in circuiti in serie misti R-C, R-L ed R-C-L.

Esso si basa su principi noti al lettore, e precisamente:

1) La differenza di fase tra la tensione a. presente ai capi di una resistenza, e quella presente ai capi di una capacità o di una induttanza ad essa in serie, *è sempre di 90°.*

2) Se il circuito in serie è del tipo *R-C* (resistenza e capacità), la tensione ai capi della resistenza è *in anticipo* rispetto a quella fornita dalla sorgente, quella ai capi della capacità è in ritardo.

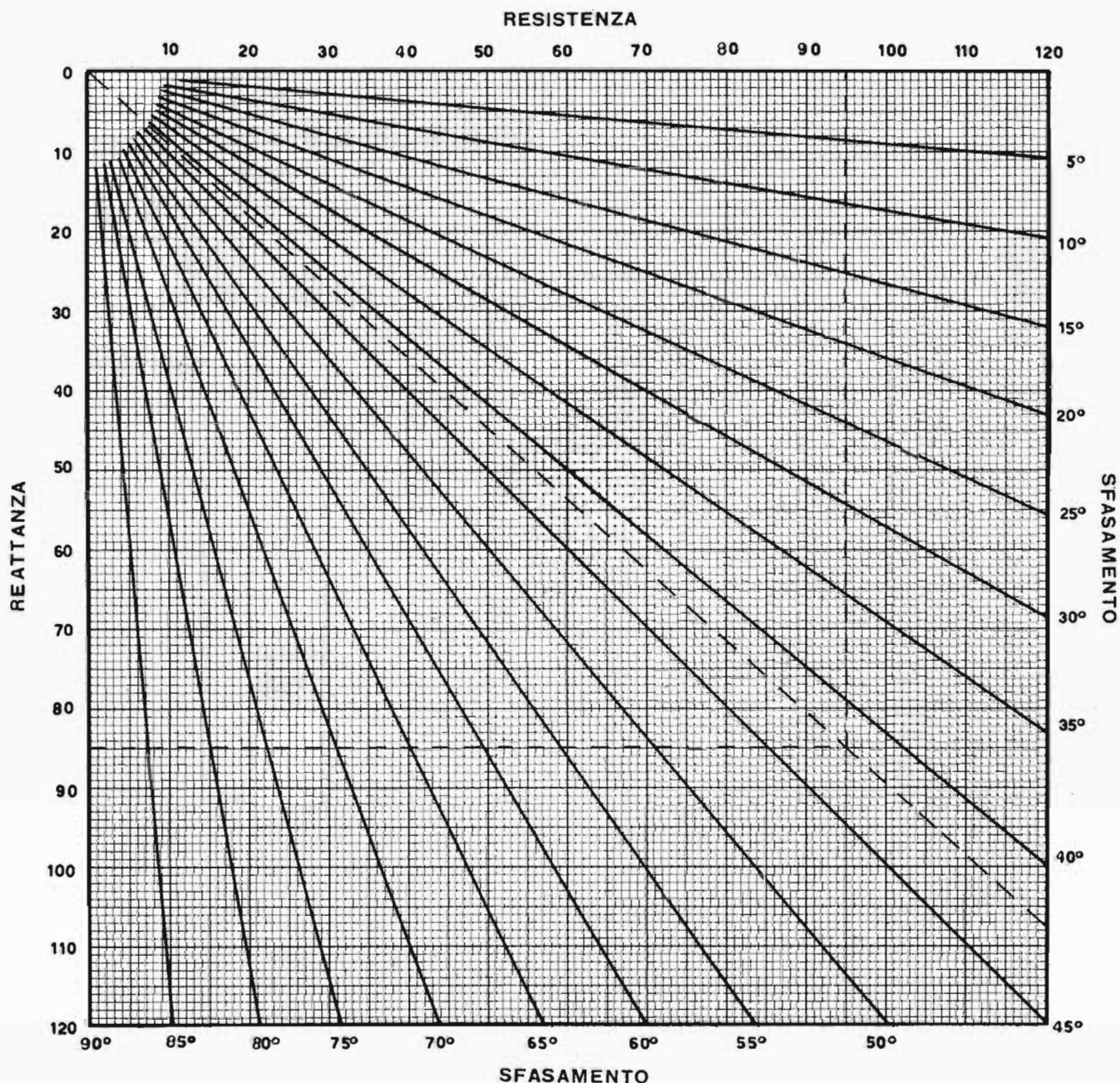
3) Se il circuito è del tipo *R-L*, la tensione ai capi della resistenza è *in ritardo,* quella ai capi dell'induttanza è in anticipo.

4) Se il circuito è del tipo *R-C-L*, la relazione di fase dipende dalle diverse reattanze. La reattanza totale è ricavata *dalla differenza tra i due valori* di X_C ed X_L. Il valore risultante viene considerato come reattanza capacitiva se $X_C > X_L$, e come reattanza induttiva se $X_L > X_C$. Se il valore risultante è di reattanza capacitiva, la tensione ai capi della resistenza sarà in anticipo rispetto a quella della sorgente, e viceversa.

Uso del grafico. Noti i valori di R (resistenza), C (capacità), L (induttanza), F (frequenza), ed i relativi valori di X_C (reattanza capacitiva) o di X_L (reattanza induttiva), basterà individuarli sulle relative scale. Sulla scala superiore orizzontale (resistenza), si individua il valore ohmico di R. Sulla scala verticale sinistra (Reattanza), si individua il valore di X_C o di X_L. Da detti punti si tracciano due coordinate, che si intersecheranno in un dato punto. Partendo dall'angolo superiore sinistro (contrassegnato « O »), si traccia una retta passante per il punto di incontro delle due coordinate, prolungandola fino ad incontrare una delle due scale dello sfasamento, tarate direttamente in gradi. Su di esse si leggerà lo sfasamento risultante, con buona approssimazione.

Le due scale, « Resistenza » e « Reattanza », sono numerate da 0 a 120 ohm. Ciò non limita l'impiego ai soli valori di resistenza o reattanza tra 0 e 120 ohm: i valori delle scale possono essere moltiplicati o divisi per un multiplo o sottomultiplo decimale, senza apportare varianti alla scala dello sfasamento. Detti valori possono essere considerati — ad esempio — da 0 a 1,2 (dividendo entrambe le scale per 100), o da 0 a 12.000 (moltiplicandole per 100). È necessario che *entrambe vengano moltiplicate o divise per il medesimo numero.*

Per semplicità, gli esempi che seguono coincidono con quello riportato sul grafico.

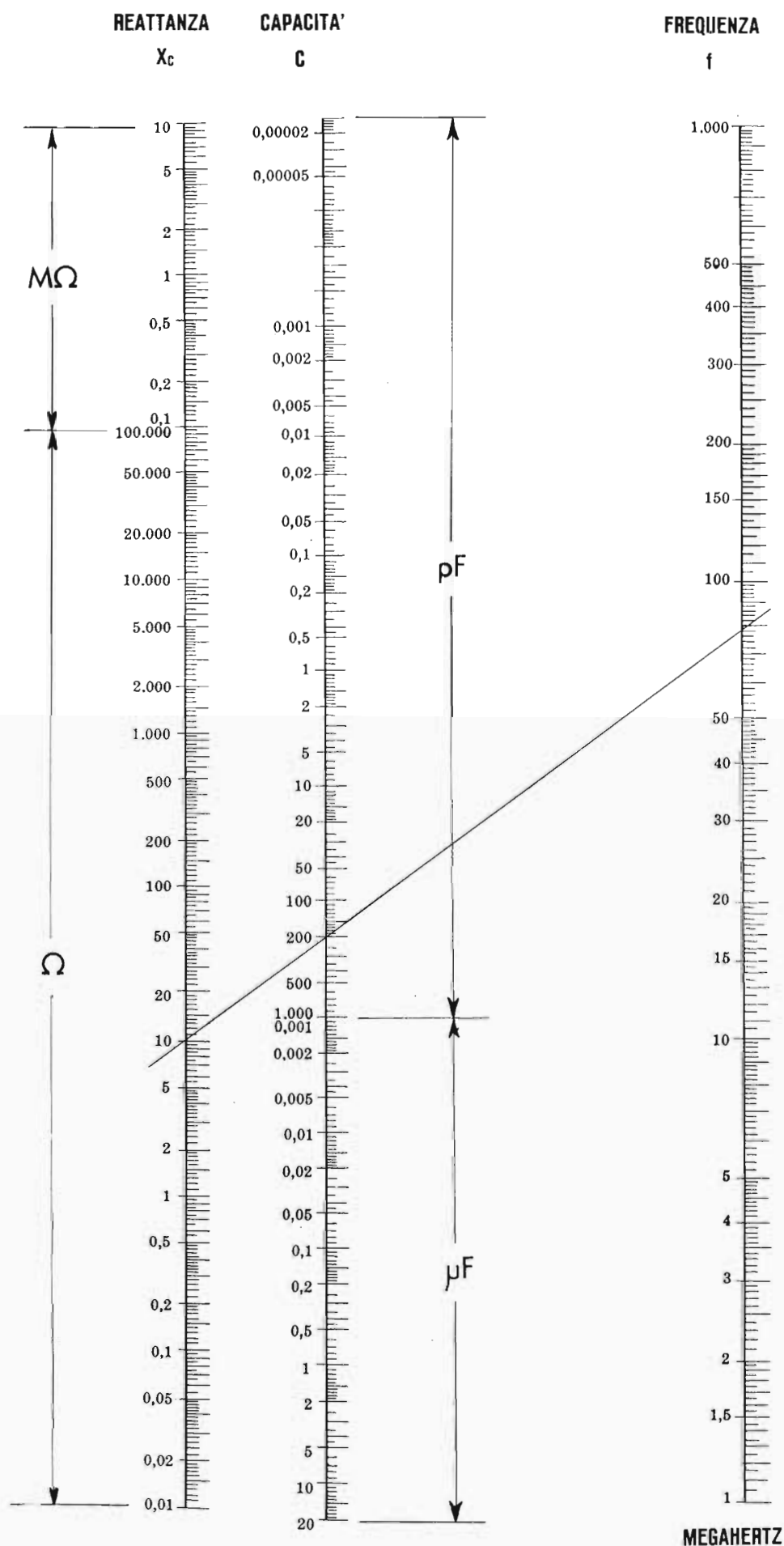
1° esempio: Si abbia un circuito in serie con R di 95 ohm e C di 20 μF. Se la frequenza della tensione applicata è di 100 Hz, la reattanza capacitiva del condensatore (vedi pag. 286) ammonta a 85 ohm. Tracciando le coordinate a partire da detti due punti sulle scale relative, e la retta avente inizio nel punto di origine, passante per il punto di intersezione delle coordinate, si legge (scala verticale destra) uno sfasamento di circa 42°: è il valore

dell'anticipo di fase della tensione ai capi di R rispetto alla tensione della sorgente.

2° esempio: Si abbia un circuito in serie con R di 95 ohm ed L di 0,135 henry. Se la frequenza della tensione applicata è di 100 Hz, la reattanza induttiva X_L sarà 85 ohm (tabella 41) e le coordinate coincideranno con quelle dell'esempio precedente. In questo caso però, 42° rappresentano il ritardo della tensione ai capi di R.

3° esempio: Si abbia un circuito in serie con R di 95 ohm, C di 100 μF, ed L di 0,17 henry. Se la frequenza della tensione applicata è di 100 Hz, i valori reattivi saranno, X_C = 15 ohm, ed X_L = 100 ohm. Poichè $X_L > X_C$, la differenza tra i due valori, pari a 85 ohm, verrà considerata come valore di reattanza induttiva. Di conseguenza, le coordinate — anche in questo caso coincidenti con quelle riportate sul grafico — consentiranno di calcolare il valore di 42° di sfasamento, ossia di ritardo della tensione ai capi di R rispetto alla tensione fornita dalla sorgente.

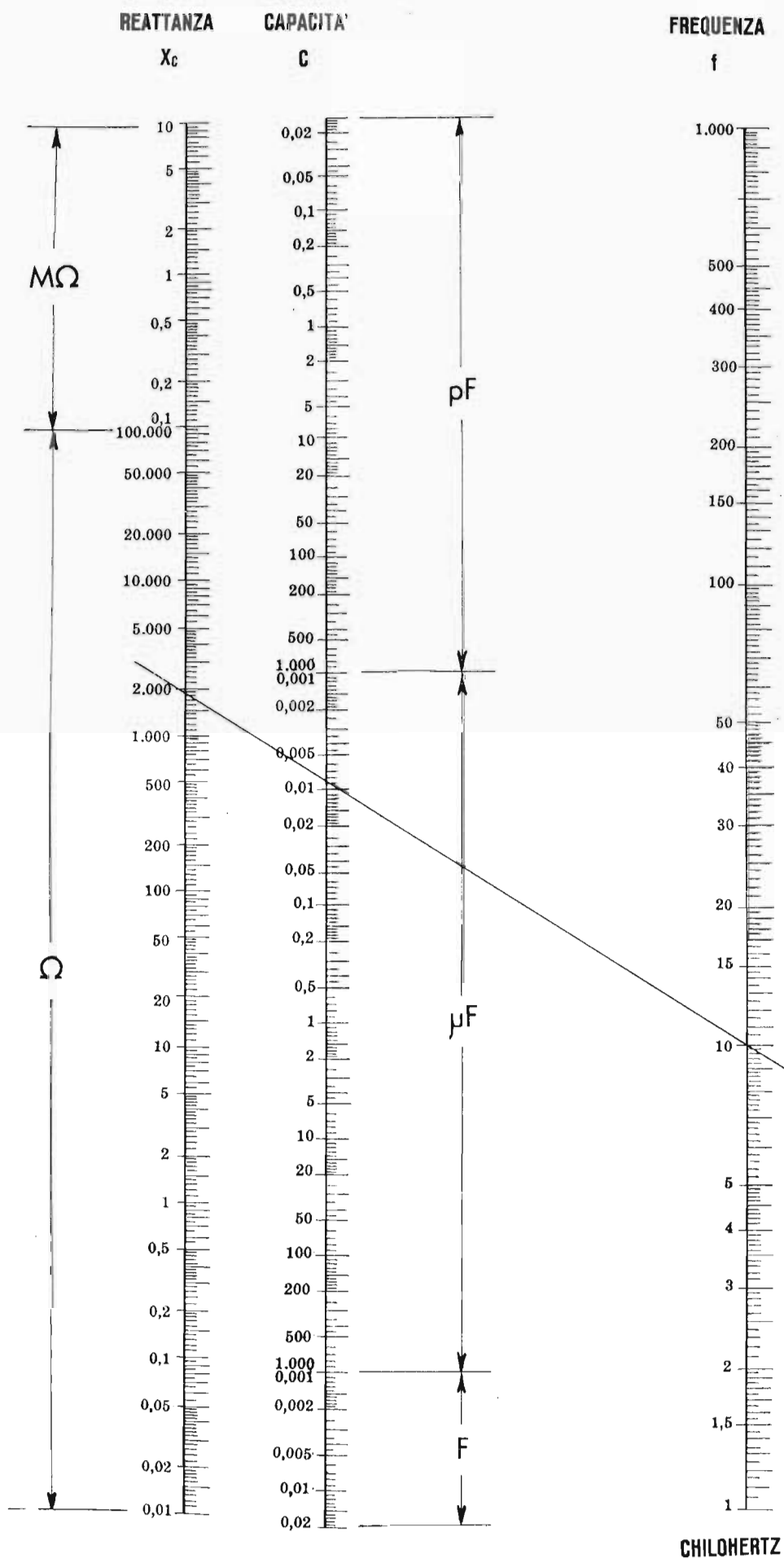
TABELLA 50 —

GRAFICI delle RELAZIONI RECIPROCHE tra REATTANZA CAPACITIVA CAPACITA' - FREQUENZA

I tre grafici riportati nelle pagine successive sono del tutto analoghi a quelli pubblicati nel fascicolo 10 (tabella 41) per il calcolo della reattanza induttiva. Essi consentono di calcolare la reattanza capacitiva per valori compresi tra 0,00002 picofarad e 20 farad, con frequenze comprese tra 1 Hz e 1.000 MHz. Anche questi grafici — come i precedenti — sono reversibili, e, sebbene il loro impiego sia identico a quello precedentemente indicato, gli esempi riportati su ciascuno di essi potranno meglio chiarirne la praticità e l'utilità.

L'esempio riportato può essere interpretato in tre modi:

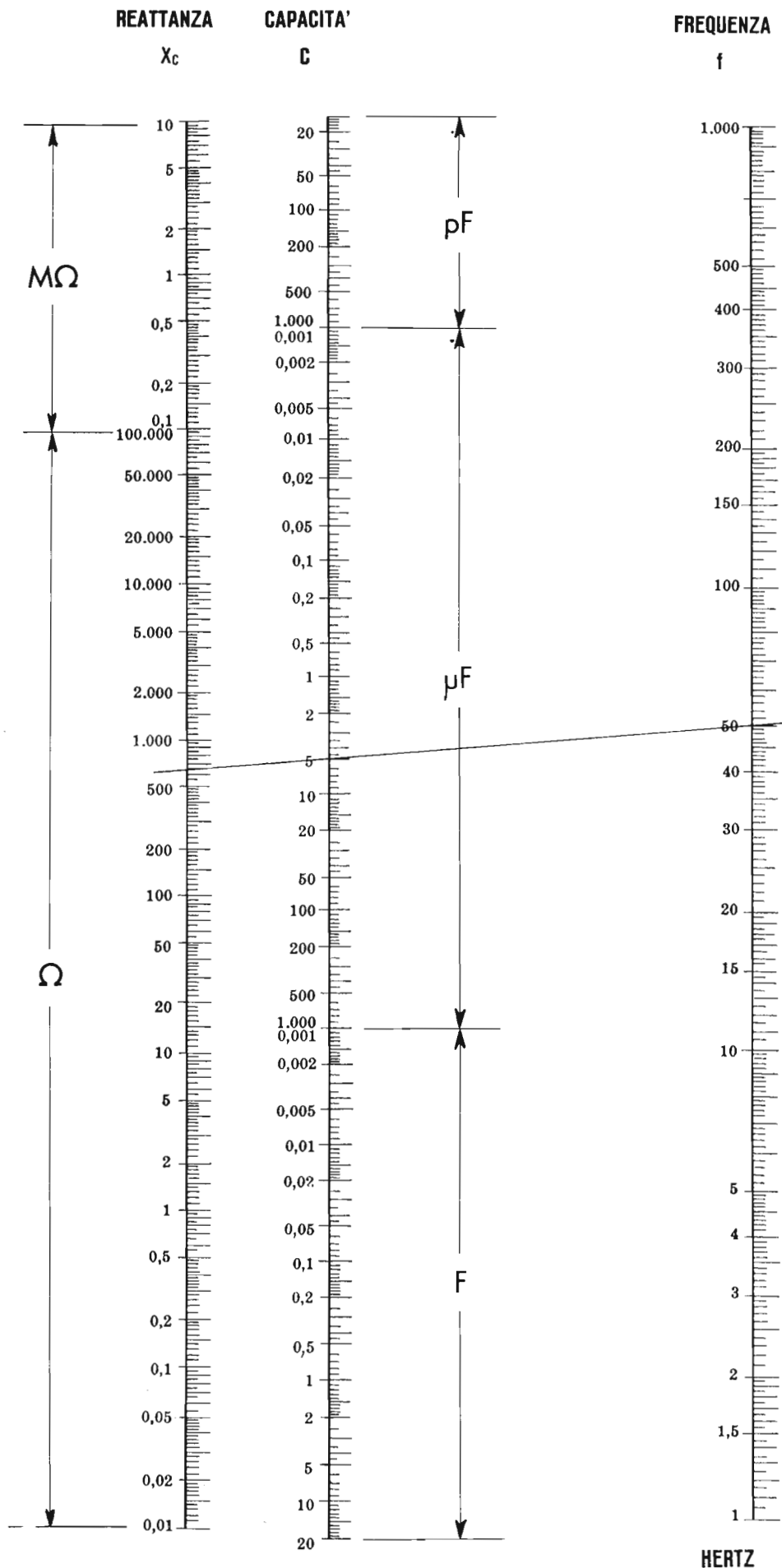
1) Sia nota la capacità di 200 pF, e la frequenza di 78 MHz. Unendo i due punti relativi sulle rispettive scale della capacità e della frequenza, e prolungando la retta fino ad incontrare quella della reattanza, troviamo che la reattanza capacitiva ammonta a 10 ohm.

2) Sia nota la reattanza capacitiva di 10 ohm e la capacità di 200 pF. In tal caso la frequenza alla quale sussiste detto valore di reattanza è pari a 78 MHz.

3) Sia nota la reattanza capacitiva di 10 ohm e la frequenza di 78 MHz. In tal caso, la capacità che oppone tale reattanza a tale frequenza deve avere il valore di 200 picofarad.

L'esempio riportato può, come il precedente, essere interpretato in tre modi:

1) Nota la capacità di 0,009 μF, e la frequenza di 10 kHz, la reattanza capacitiva ammonta a 1.800 ohm.

2) Nota la reattanza capacitiva di 1.800 ohm, e la capacità di 0,009 μF, la frequenza alla quale sussiste detto valore di reattanza è pari a 10 kHz.

3) Nota la reattanza capacitiva di 1.800 ohm e la frequenza di 10 kHz, la capacità che oppone tale reattanza a tale frequenza deve avere il valore di 0,009 μF.

L'esempio riportato può — come i precedenti — essere interpretato in tre modi:

1) Nota la capacità di 5 µF e la frequenza di 50 Hz, la reattanza capacitiva ammonta a 650 ohm.

2) Nota la reattanza capacitiva di 650 ohm e la capacità di 5 µF, la frequenza alla quale sussiste detto valore di reattanza è pari a 50 Hz.

3) Nota la reattanza capacitiva di 650 ohm e la frequenza di 50 Hz, la capacità che oppone tale reattanza a tale frequenza deve avere il valore di 5 µF.

È una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è realmente — da diverso tempo — la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

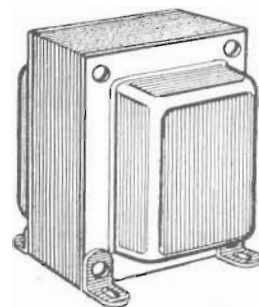
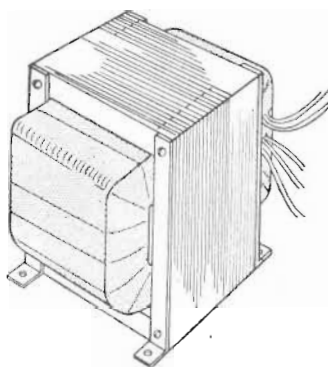
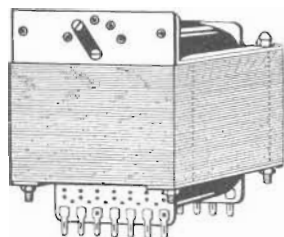
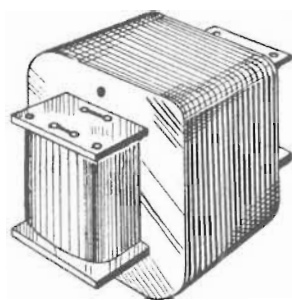
Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE" - via dei Pellegrini N° 8/4
conto corr. postale: 3/4545 - Milano

Una copia - alle edicole - Lire 300

"RADIO e TELEVISIONE": la più utile - la più interessante - la più aggiornata - una grande rivista.

4 copie gratuite

Il fascicolo dicembre 1960 (N. 96) ora in vendita alle edicole sarà offerto in omaggio unitamente ai tre fascicoli precedenti (o ad altri da indicare) a coloro che invieranno la quota di abbonamento per i 12 Numeri del 1961: . . . Lire 3060.

Sconto 10 % agli abbonati al "Corso di Radiotecnica": . . Lire 2754.

Sul prossimo fascicolo

due lezioni dedicate interamente alla teoria di funzionamento ed alla costruzione (con esempio di calcolo) dei TRASFORMATORI DI ALIMENTAZIONE. La terza lezione è corredata di tabelle e grafici di grande praticità, utilissimi per una immediata conoscenza degli elementi e dei dati costruttivi.

Per un anno, a domicilio, un completo Corso che vi costa un decimo di tutti gli altri Corsi

Vi formerete un volume di ben 1248 pagine: un prezioso manuale-enciclopedia di elettronica

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi di qualche fascicolo, ne offriamo l'invio dietro rimessa - a mezzo vaglia - dell'importo di sole lire 150 per fascicolo.